

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Hyperlearning: une technique d'apprentissage par les TI

Lebutte, Jérémy

Award date:
2015

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2014 - 2015

**Hyperlearning : une technique
d'apprentissage par les TIC**

Julien LEBUTTE



Maître de stage : Professeur Martin DESSEILLES

Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
Professeur Vincent ENGLEBERT

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Résumé

Un des buts du projet "Hyperlearning" est de voir comment nous pouvons interagir avec les différents concepts relatifs à l'apprentissage et à la mémoire en utilisant les technologies actuelles. Le résultat est le développement d'une plate-forme Web adaptée à tous les types d'appareils populaires auprès des étudiants : ordinateurs, smartphones et tablettes. Cette plate-forme a pour objectif de fournir des questionnaires aux étudiants sous différentes formes : questionnaires à choix multiples avec ou sans images. Les étudiants qui répondent aux questionnaires en ligne intègrent plus facilement les connaissances relatives aux cours tout en profitant d'un accès facile, d'une autonomie de travail, d'une flexibilité dans le temps de travail et d'un rythme adapté à chacun.

Les questions peuvent être posées avant ou après le cours, la différence se situe au niveau des avantages qu'elles procurent. En effet, les questions après le cours fournissent une répétition et un retour sur l'information apprise plus tôt tandis que les questions avant le cours incitent l'étudiant à se concentrer sur la matière lorsqu'elle sera abordée. Dans tous les cas, l'étudiant peut répondre à un questionnaire autant de fois qu'il le souhaite et un retour sur la question est donné après chaque réponse (correcte ou non). Ce procédé permet de créer des liens entre les connaissances, corriger les éventuelles erreurs avant qu'elles ne soient mémorisées et fournir des rappels d'informations. L'ensemble des fonctionnalités se base sur les résultats obtenus par les études menées autour de l'apprentissage et de la mémoire.

Mots-clés : apprentissage, courbes d'apprentissage et d'oubli, mémoire, multimédia, psychologie

Abstract

One of the Hyperlearning project goals is to see how we can interact with the various concepts related to learning and memory using current technologies. The result is the development of a web platform adapted to all types of popular devices among students : computers, smartphones and tablets. This platform aims to provide questionnaires to students in different forms : MCQ and/or with images. Students responding to online questionnaires integrate knowledge related to the course more easily while enjoying easy access, work autonomy, flexibility in working time and a pace appropriate to each.

Questions can be asked before or after the course, the difference is the level of benefits provided. Indeed, post-question provides repetition and feedback on information learned earlier while pre-question leads the student to focus on the information that will be received later. In all cases, the student can answer a questionnaire as many times as desired and feedback on the question is given after each student's answer (whether it is correct or false), this process allows links between the knowledge or information reminders. The features are based on psychological theories related to learning and memory.

Keywords : learning, forgetting and learning curves, memory, multimedia, psychology

Remerciements

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, M. Vincent Englebert, professeur à l'Université de Namur, qui a pris le temps de me guider dans la réalisation de ce travail et répondre à mes questions en tant que promoteur de mémoire.

Je remercie également M. Martin Deseilles, professeur et directeur du département de psychologie à l'Université de Namur, pour tout ce qu'il m'a apporté durant l'élaboration de mon travail. Je le remercie également pour toutes les activités auxquelles j'ai pu prendre part et les ressources mises à ma disposition. Sans oublier les différents conseils qu'il a pu me donner tout au long de notre collaboration.

Enfin, les professeurs de la faculté d'informatique de l'Université de Namur pour les cours reçus durant ces dernières années et l'acquisition d'une formation complète.

Table des matières

I	Etat de l’art	2
1	Apprentissage	3
1.1	Comportementalisme	3
1.1.1	Conditionnement répondant	3
1.1.2	Conditionnement opérant	5
1.2	Synthèse	6
2	La mémoire	7
2.1	Mémoire sensorielle	8
2.2	Mémoire à court terme	8
2.3	Mémoire à long terme	9
2.3.1	Indices de récupération	10
2.4	Synthèse	10
3	Courbes d’apprentissage et d’oubli	11
3.1	Répétition espacée	12
4	Multimedia learning	13
4.1	Plates-formes d’e-learning	13
4.2	Ludification	14
4.3	Synthèse	16
II	Réalisation	18
5	Projet Hyperlearning	19
5.1	Fonctionnement général	19
5.2	Fonctionnement - Administration	20
5.3	Fonctionnement - Étudiant	22
5.4	Choix technologiques	23
5.4.1	Application mobile native	23
5.4.2	Sites Web dédiés	25
5.4.3	Responsive Web Design	25
5.4.4	Appels asynchrones et sécurité	27
5.5	Synthèse	28

6	Mise en oeuvre	29
6.1	Organisation	29
6.1.1	Les listes d'adjacence	29
6.1.2	Les ensembles imbriqués	31
6.2	Élaboration et encodage	40
6.3	Indices de récupération	42
6.4	Synthèse	43
7	Courbes d'apprentissage et d'oubli	44
7.1	Courbe d'apprentissage spécifique	44
7.2	Répétitions	45
7.3	Synthèse	47
III	Perspectives	48
8	Apprentissage automatique	49
8.1	Définitions	49
8.1.1	Apprentissage supervisé	50
8.1.2	Apprentissage non supervisé	51
8.2	Lien avec le projet	51
9	Informatique décisionnelle	52
9.1	Définitions	53
9.1.1	Entrepôt de données	53
9.1.2	Magasin de données	53
9.1.3	OLAP	53
9.2	Lien avec le projet	55
10	Ludification	57

Introduction

Nous vivons dans un monde où nous devons connaître de plus en plus de choses et où il est nécessaire d'apprendre tout au long de notre vie. Malheureusement, si la capacité d'apprendre de nouvelles informations est innée comme nous le verrons au travers du conditionnement, il n'est pas toujours aisé d'enregistrer ces nouvelles connaissances durablement dans la mémoire. La mémoire est la trace durable de l'apprentissage au sein de notre cerveau et il est essentiel que les informations y soient stockées de la meilleure manière possible. Dans une société où le numérique prend de plus en plus de place, pourrait-on utiliser les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer cette mémorisation et, par extension, l'apprentissage ?

Le projet "Hyperlearning" est né à partir de cette idée et pourrait se résumer à une plate-forme d'aide à l'apprentissage. En nous basant fortement sur les différents concepts qui dictent les théories de l'apprentissage et de la mémoire, nous souhaitons proposer un outil adapté à chacun qui souhaite apprendre de nouvelles connaissances.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de commencer par aborder les théories qui définissent l'apprentissage et la mémoire afin d'identifier les éléments qui permettent de favoriser l'acquisition durable de nouvelles informations. Malgré plusieurs théories, les scientifiques se sont accordés sur un modèle de représentation de la mémoire et sur la manière dont une information du monde extérieur peut être enregistrée dans notre cerveau. En comprenant ce modèle, nous pourrions obtenir des éléments de réponses quant aux interactions possibles pour améliorer l'apprentissage et la mémoire de l'utilisateur. Étant donné que notre plate-forme n'est pas la première dans le domaine de l'aide à l'apprentissage, un aperçu des solutions existantes peut être un bon point de départ pour saisir l'intérêt d'un outil de ce genre et ainsi nous différencier.

Ensuite, il sera intéressant de montrer comment nous pouvons transposer ces théories psychologiques dans le monde informatisé que nous connaissons. Outre l'organisation de notre base de données, c'est toutes les fonctionnalités de la plate-forme qui sont influencées par les théories de l'apprentissage et de la mémoire. Les études menées autour de ce domaine utilisent souvent des données indépendantes afin de pouvoir généraliser le résultat obtenu. Par conséquent, une adaptation sera donc nécessaire avant de pouvoir les exploiter. Nous verrons également qu'il ne suffit pas de réaliser des contrôles pour vérifier qu'une information est toujours présente dans notre mémoire, il y a également la manière de le faire qui importe.

Enfin, et c'est aussi là que réside l'intérêt du projet, nous aborderons les différents moyens mis en place pour adapter l'outil à son utilisateur : nous n'apprenons pas tous de la même manière ni à la même vitesse donc il est primordial qu'un outil d'aide à l'apprentissage s'accorde avec nos capacités.

Première partie

Etat de l'art

Chapitre 1

Apprentissage

Avant d’aborder l’Hyperlearning, il est important de bien comprendre les concepts définissant l’apprentissage. D’après Pierre Juillet [14], l’apprentissage est défini comme suit :

“Processus par lequel un individu va acquérir une réponse ou un ensemble de réponses qu’il ne possédait pas dans son répertoire. Ces réponses “appries” sont de types variés : comportementales, cognitives, émotionnelles, physiologiques.”

Les théories de l’apprentissage étant multiples et vastes, nous nous limiterons au comportementalisme afin d’avoir les bases nécessaires pour aborder les chapitres suivants.

1.1 Comportementalisme

Le comportementalisme (ou béhaviorisme) est une des théories de l’apprentissage qui se concentre sur le comportement et les interactions avec l’environnement. Dans cette optique, l’apprentissage peut être de deux types différents qui seront expliqués plus en détails dans cette section :

- Conditionnement répondant : basé sur l’association d’un stimulus neutre et d’un stimulus inconditionnel provoquant une réponse conditionnée.
- Conditionnement opérant : basé sur les conséquences. Le renforcement et la punition influent sur la réapparition de la réponse comportementale.

1.1.1 Conditionnement répondant

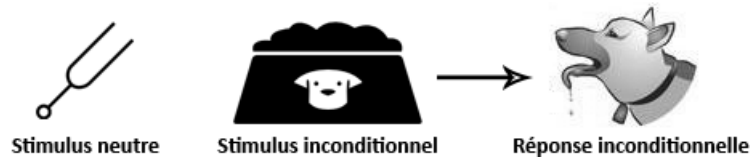
Les études autour du conditionnement répondant ont été initiées par la découverte accidentelle d’Ivan Pavlov sur la salivation des chiens. Lors d’une expérience mesurant la salivation sur base des aliments proposés, un étudiant de Pavlov remarqua que les chiens salivaient bien avant que la nourriture ne leur soit proposée. Suite à cette découverte, Pavlov mena une expérience qui consistait à proposer de la nourriture aux chiens juste après avoir fait tinter un diapason. Après plusieurs itérations, les chiens salivaient juste en entendant le diapason sans que de la nourriture ne soit proposée par la suite.

Afin de bien comprendre le conditionnement répondant, il faut saisir l'importance de cinq termes qui sont définis par Karen Huffman [12] comme suit :

- **Stimulus inconditionnel (SI)** : Stimulus qui provoque un réflexe ou une réponse émotionnelle sans qu'il n'y ait eu d'apprentissage ou de conditionnement.
- **Réponse inconditionnelle (RI)** : Réponse réflexe provoquée par un stimulus sans qu'il y ait eu d'apprentissage.
- **Stimulus neutre (SN)** : Stimulus externe qui, d'ordinaire, ne provoque pas de réponse réflexe ni émotionnelle qui pourrait être conditionnée.
- **Stimulus conditionné (SC)** : Stimulus auparavant neutre qui, à la suite d'une association répétée à un stimulus inconditionnel (SI), provoque une réponse conditionnée (RC).
- **Réponse conditionnée (RC)** : Réaction apprise déclenchée par un stimulus conditionné (SC), laquelle se produit en raison de l'association répétée d'un stimulus neutre (SN) à un stimulus inconditionnel (SI).

Dans le cadre des expériences de Pavlov, illustrées par la figure 1.1, le stimulus inconditionnel était la nourriture et la réponse inconditionnelle provoquée par ce stimulus était la salivation. Le tintement du diapason était le stimulus neutre car il n'est pas censé provoquer de réactions auprès des chiens. Ce stimulus neutre est devenu un stimulus conditionné lorsqu'il a été associé à la nourriture et provoqua une réponse conditionnée (la salivation).

Avant conditionnement



Pendant conditionnement



Après conditionnement

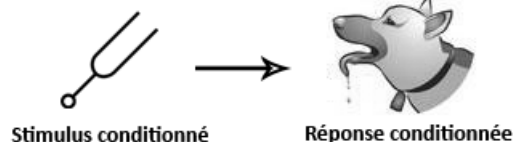


FIGURE 1.1 – Illustration de l'expérience de Pavlov.

Le cœur de la découverte d'Ivan Pavlov est qu'un apprentissage peut apparaître quand un stimulus neutre (SN) est régulièrement associé à un stimulus inconditionnel (SI). Lorsque ça se produit, le stimulus neutre devient un stimulus conditionné (SC) et produit une réponse conditionnée (RC).

En d'autres termes, le conditionnement répondant est une forme d'apprentissage qui repose sur l'association d'un stimulus neutre et d'un stimulus inconditionnel. Cette combinaison donne lieu à une réponse conditionnelle.

1.1.2 Conditionnement opérant

Le conditionnement opérant est basé sur les conséquences. Par conséquence, on entend qu'un renforcement ou une punition influence la réapparition d'une réponse, c'est à dire que nous pouvons augmenter ou diminuer la probabilité de répétition d'une réponse. Alors qu'elles n'ont aucune influence dans le cadre du conditionnement répondant, les conséquences jouent un rôle majeur dans le conditionnement opérant.

La deuxième différence majeure avec le conditionnement répondant étant que la réponse est involontaire et passive pour le conditionnement répondant tandis qu'elle est volontaire et active dans l'opérant.

- **Réponse involontaire et passive** : Il s'agit d'un comportement réflexe en réaction à un stimulus neutre (SN) suivi d'un stimulus inconditionnel (SI). Le sujet n'a pas de contrôle sur sa réaction lorsqu'elle est apprise.
- **Réponse volontaire et active** : Le sujet agit volontairement sur l'environnement, ce qui produit un renforcement ou une punition (qui provient souvent de l'environnement). Cet effet a pour conséquence d'influer sur la répétition de l'action par le sujet.

Cependant, cette séparation n'est pas stricte puisqu'il apparaît que les deux conditionnements sont généralement liés pour maintenir un comportement et que le conditionnement répondant peut influencer sur le comportement volontaire et inversement [12]. En réalité, il s'agit de deux théorisations de conditionnement et plus largement de l'apprentissage.

Renforcement

Dans le cadre du conditionnement opérant, le renforcement est le premier type de conséquence possible et a pour objectif d'augmenter la probabilité d'un comportement à l'aide de renforçateurs.

Les renforçateurs sont classés en deux catégories par les scientifiques (primaire ou secondaire) et peuvent être positif ou négatif.

D'une part, les types (primaire ou secondaire) permettent de différencier les renforçateurs comblant des besoins physiologiques comme la faim ou le sommeil (primaires) des renforçateurs dépourvus de valeur intrinsèque comme l'argent, une médaille ou encore le prestige. D'autre part, le renforcement peut être positif ou négatif : nous pouvons ajouter ou retirer un élément. Par exemple, une augmentation de salaire suite aux bonnes performances d'un employé équivaut à un renforcement secondaire positif.

Punition

Comme pour le renforcement, il existe deux types de punitions. Tout d'abord, la punition positive qui ajoute un stimulus indésirable comme, par exemple, des corvées à faire suite à une bêtise faite par un enfant. Ensuite, nous avons la punition négative qui enlève un stimulus désirable (Exemple : privé de dessert). Dans tous les cas, la punition a pour objectif de diminuer ou supprimer un comportement au sujet.

Il est important de ne pas confondre le renforcement négatif avec la punition. Le renforcement négatif est une suppression d'un stimuli afin d'augmenter la probabilité de réponse. Qu'il soit positif ou négatif, le renforcement a toujours pour but d'augmenter les chances de voir se reproduire un comportement tandis que la punition a pour objectif de le faire disparaître.

1.2 Synthèse

Ce premier chapitre a permis d'avoir un aperçu des bases de l'apprentissage et plus particulièrement du comportementalisme par l'intermédiaire de deux approches : conditionnement répétant et conditionnement opérant. Ces deux méthodes, bien que différentes, ont un objectif commun qui est d'enregistrer durablement des comportements au sein du cerveau.

Les concepts abordés dans ce chapitre vont permettre de comprendre le chapitre suivant qui se concentre sur la mémoire. En effet, si l'apprentissage est une modification permanente du comportement, la mémoire en est le fruit car elle est la trace conservée au sein du cerveau.

Chapitre 2

La mémoire

Fortement liée à l'apprentissage, la mémoire est définie comme étant la capacité à stocker et à récupérer l'information. Plusieurs modèles ont été proposés par la communauté scientifique pour expliquer le traitement de l'information par la mémoire et c'est le modèle des trois paliers de la mémoire qui est aujourd'hui le plus largement utilisé. D'après ce modèle, l'information transite par trois paliers distincts où elle est retenue de manière plus ou moins longue. Comme le montre la figure 2.1, une nouvelle information arrive toujours au premier palier et ne peut pas accéder au dernier sans transiter par le second.

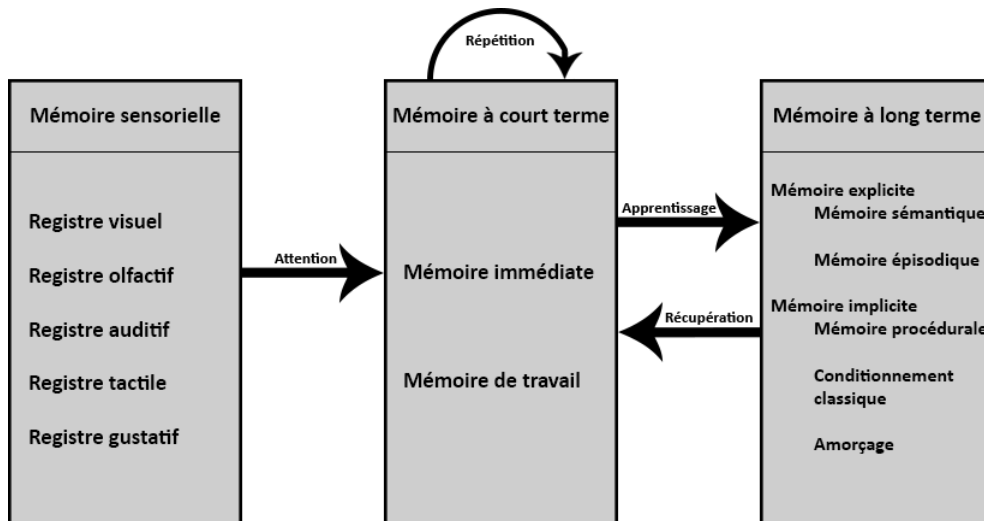


FIGURE 2.1 – Représentation du modèle des trois paliers de la mémoire.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons détailler chaque palier de ce modèle : mémoire sensorielle, mémoire à court terme et mémoire à long terme.

2.1 Mémoire sensorielle

La mémoire sensorielle est le passage obligatoire dans le modèle des trois paliers. Comme son nom l'indique, toutes les informations captées à l'aide de nos sens entrent d'abord dans la mémoire sensorielle. Son but est d'enregistrer une image relativement exacte des informations afin de permettre le tri entre celles-ci et permettre aux éléments pertinents d'accéder au palier supérieur. Bien que la mémoire sensorielle enregistre les informations en provenance des cinq sens, la durée de rétention diffère d'un sens à l'autre. Par exemple, le travail de Neisser [23] nous apprend que les informations visuelles sont conservées entre un quart et une demi seconde tandis que les informations auditives peuvent rester enregistrées jusqu'à quatre secondes.

La mémoire sensorielle est caractérisée par une grande capacité de rétention, mais avec une durée très limitée (quelques secondes maximum). Selon Carol Tavris et Carole Wade [5], c'est lors du transfert des informations de la mémoire sensorielle vers le palier supérieur que nous reconnaissons les formes (par exemple : reconnaître un visage familier dans une foule). Toute information captée par nos sens qui ne sera pas envoyée à la mémoire à court terme sera définitivement perdue.

2.2 Mémoire à court terme

A l'instar de la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme ne conserve les informations que pendant un temps limité (environ 30 secondes). Cependant, le nombre d'informations pouvant être contenues dans la mémoire à court terme est très faible : de cinq à neuf éléments [12].

Heureusement, il est possible d'augmenter la durée de rétention et la quantité d'informations stockées dans la mémoire à court terme. D'une part, nous pouvons utiliser la répétition pour augmenter presque indéfiniment la durée de la mémoire à court terme. En effet, il suffit de réitérer l'information pour qu'elle reste à ce palier de la mémoire. Ce procédé est utilisé par exemple lorsque nous cherchons un mot au dictionnaire. D'autre part, organiser l'information en blocs permet d'augmenter la capacité de la mémoire à court terme. C'est pour cette raison que les numéros de téléphone ou de carte bancaires sont séparés en plusieurs morceaux : nous retenons plus facilement des blocs de chiffres plutôt qu'une série de chiffres isolés. Un autre exemple est celui des joueurs d'échecs qui découpent le plateau en plusieurs morceaux afin de mémoriser la position des pièces [2].

Comme nous pouvons le voir sur la figure 2.1, la mémoire à court terme est divisée en deux sous-types : la mémoire immédiate et la mémoire de travail. Comme expliqué par Larry R. Squire et Eric R. Kandel [30], la mémoire immédiate représente ce qui est actuellement actif à l'esprit, ce à quoi nous pensons lorsque l'information est reçue. Lorsque nous augmentons la durée de rétention d'une information, la donnée est toujours dans la mémoire à court terme, mais nous parlons à présent de mémoire de travail qui représente une extension de la mémoire immédiate.

2.3 Mémoire à long terme

Troisième palier de la mémoire, la mémoire à long terme est destinée à stocker durablement les informations. Contrairement à la mémoire sensorielle et à la mémoire à court terme, la mémoire à long terme possède une capacité et une durée de rétention illimitées, mais l'information doit être organisée correctement.

Lorsqu'une information est transférée vers la mémoire à long terme depuis la mémoire à court terme, elle est encodée et rangée. Un des exemples permettant d'illustrer ce procédé est celui de l'ordinateur. Lorsque nous obtenons de nouveaux documents (depuis Internet ou une clé USB), nous les classons dans des dossiers et sous-dossiers afin de les retrouver plus facilement lorsque nous en aurons besoin. La mémoire à long terme fonctionne sur le même principe, illustré par la figure 2.2 : les informations sont rangées pour faciliter leur récupération.

Dans un premier temps, nous pouvons distinguer deux types de mémoire à long terme : la mémoire explicite (ou déclarative) et la mémoire implicite. La différence entre les deux est très simple : la mémoire implicite contient les informations dont nous nous rappelons inconsciemment. A contrario, la mémoire explicite est nommée ainsi car nous pouvons expliquer les informations contenues dans celle-ci (exemple : comment était le petit déjeuner de ce matin ? La réponse à cette question se trouve dans la mémoire explicite)

Ensuite, chaque type est divisé en plusieurs sous-types. D'une part, pour la mémoire explicite, nous avons :

- La mémoire sémantique qui contient l'ensemble des faits et connaissances générales. Exemples : le ciel est bleu, un carré à quatre côtés, etc.
- La mémoire épisodique qui contient les expériences vécues. Exemples : mariage, le match regardé la veille à la télévision, etc.

D'autre part, la mémoire implicite est décomposée de la manière suivante :

- La mémoire procédurale qui contient habiletés motrices comme pouvoir faire du vélo, conduire une voiture, écrire, etc.
- La mémoire liée au conditionnement classique est le siège des réactions conditionnées comme la peur ou les dégoûts mais aussi les préjugés.
- L'amorçage. L'effet d'amorce est présent lorsque l'exposition à un stimulus a des conséquences sur de nouvelles informations perçues. En d'autres termes, les expériences vécues affectent l'attention que nous porterons à des situations semblables dans le futur.

L'encodage des informations dans la mémoire à long terme passe également par l'association avec des connaissances déjà acquises. Ces associations permettent de donner un sens aux informations encodées et favorisent l'organisation [33], ce qui est très important puisque la qualité de la récupération (le passage de la mémoire à long terme à la mémoire à court terme, voir figure 2.1) dépend beaucoup de la qualité de l'encodage.

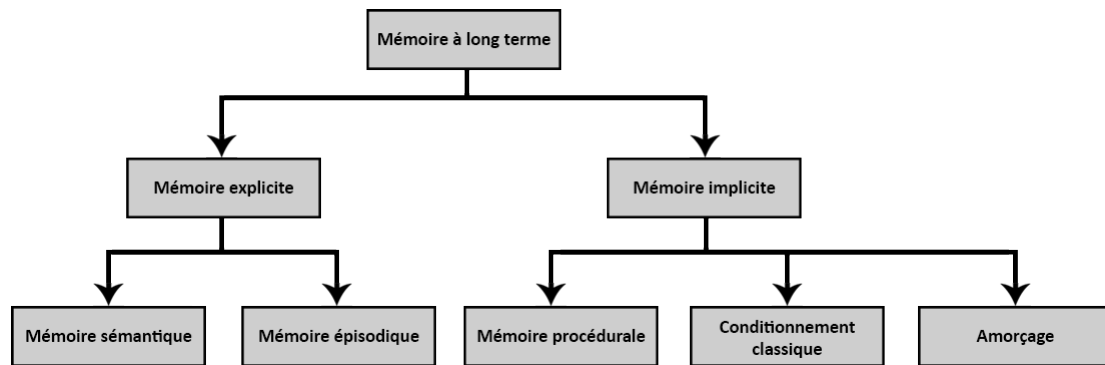


FIGURE 2.2 – Représentation de la mémoire à long terme.

2.3.1 Indices de récupération

Un bon encodage de l'information au sein de la mémoire à long terme facilite la récupération lorsque nous avons besoin de nous souvenir. Pour récupérer une information, nous utilisons des indices de récupération qui sont des stimuli disponibles lorsque nous cherchons un souvenir et nous pouvons en distinguer deux types.

D'une part, nous avons les indices qui proviennent de l'extérieur (aussi appelés indices spécifiques) qui utilisent le principe de reconnaissance pour récupérer les souvenirs. Par exemple, si des policiers montrent des photos de criminels à une victime, ils utilisent des indices spécifiques.

D'autre part, les indices généraux sont générés mentalement et font appel au rappel. C'est-à-dire qu'il faut se rappeler des informations déjà apprises comme lorsque nous devons répondre à des questions de développement. Par opposition, les questionnaires à choix multiples font appel à la reconnaissance.

Plus une information est bien encodée dans la mémoire à long terme et plus il y a de chance qu'un indice permette de la récupérer au moment voulu.

2.4 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons vu le fonctionnement de la mémoire d'une manière générale. Nous ne nous sommes pas attardé sur le fonctionnement pratique de la mémoire au sein du cerveau car ce n'est pas le but recherché. L'important est de comprendre que la mémoire est divisée en trois paliers et qu'une information doit transiter à travers l'ensemble de ceux-ci afin d'être retenue. Il est essentiel de retenir que les informations doivent être correctement encodées avant d'être stockées dans la mémoire à long terme si l'on souhaite pouvoir les récupérer dans le futur.

Chapitre 3

Courbes d'apprentissage et d'oubli

Hermann Ebbinghaus est un psychologue allemand du 19e siècle et fut le premier à définir la courbe d'apprentissage [1][8]. Il se concentra sur la mémorisation par répétition en admettant qu'il connaissait une liste de syllabes dépourvues de sens s'il pouvait la réciter deux fois sans erreur [10]. Sa définition de la courbe d'apprentissage décrivait les améliorations observées sur la mémorisation au fil des répétitions et en même temps, il décrivit la courbe d'oubli, également nommé courbe d'Ebbinghaus.

La courbe d'oubli décrit la perte exponentielle d'informations apprises tandis que la courbe d'apprentissage réfère à la vitesse d'apprentissage d'une information par un sujet (cette courbe est également exponentielle).

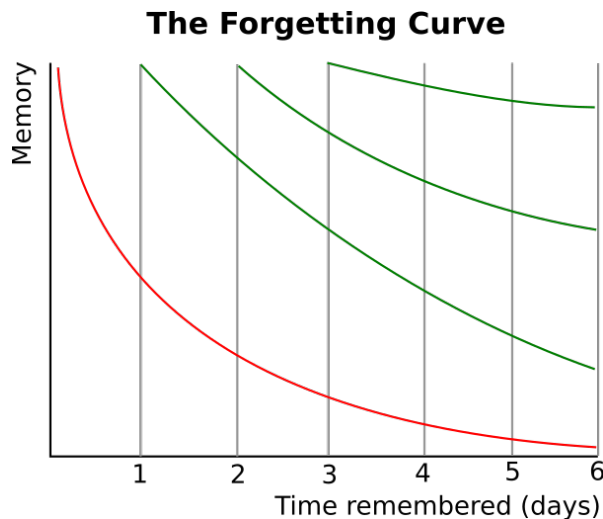


FIGURE 3.1 – Représentation typique de la courbe d'oubli (Auteur : Icez)

Sur la figure 3.1, illustrant la courbe d'oubli, nous pouvons voir qu'une grande partie de l'information apprise est rapidement oubliée lors de la première occurrence d'apprentissage. Lors des occurrences suivantes, la quantité d'informations restant en mémoire augmente, ce qui explique que la pente de la courbe diminue. Les études autour des courbes d'ap-

apprentissage et d'oubli ont montré que la quantité d'informations perdue entre deux tests diminue et qu'il faut de moins en moins de temps pour réapprendre une information. Ces courbes illustrent parfaitement le passage de l'information de la mémoire à court terme vers la mémoire à long terme et les rappels qui sont faits par notre cerveau lorsque nous devons nous rappeler d'une information précédemment apprise.

3.1 Répétition espacée

Hermann Ebbinghaus a été le premier à étudier les conséquences de l'espacement des répétitions [8], mais un autre psychologue, Herbert F. Spitzer, a également mis en avant l'efficacité de cette technique en testant ses effets sur des étudiants [29]. La méthode de la répétition espacée est une technique d'apprentissage qui repose sur l'effet d'espacement : les sujets se souviennent plus facilement quand ils ont étudié à plusieurs reprises au cours d'une longue période de temps que lorsque les répétitions sont très rapprochées.

En d'autres termes, il vaut mieux espacer les répétitions sur plusieurs jours ou semaines plutôt que sur une seule journée, mais, idéalement, il faudrait qu'une répétition survienne juste avant que l'information ne soit oubliée. Comme nous l'avons vu avec la figure 3.1, la courbe d'oubli est de moins en moins forte au fil des répétitions, ce qui signifie que l'information est oubliée moins rapidement. Par conséquent, il faudra que l'espacement des répétitions soit de plus en plus grand au fil de l'apprentissage.

Chapitre 4

Multimedia learning

Richard E. Mayer [19][20] nous apprend que le *Multimedia learning* est une théorie selon laquelle les mots et les images ensemble sont une aide bien plus précieuse à l'apprentissage que si nous n'avions que des mots ou que des images. Il a été démontré que nous sommes moins concentrés sur les informations lorsqu'il s'agit d'un texte seul, nous ne faisons pas forcément assez de connexions entre ce que nous lisons et les connaissances déjà présentes dans la mémoire. Les études ont également montré que l'apprentissage est plus efficace lorsque le matériel d'apprentissage permet de créer une représentation cognitive qui sera intégrée mentalement aux connaissances existantes.

Si au départ, le terme multimédia désignait principalement les images et les sons, il a été étendu aujourd'hui afin d'inclure les logiciels et autres contenus interactifs.

Dans ce chapitre, nous verrons comment les études autour du *Multimedia learning* ont été combinées aux nouvelles technologies afin de faire apparaître de nouveaux outils d'apprentissage. Nous aborderons également la notion de ludification et plus particulièrement son impact sur l'apprentissage.

4.1 Plates-formes d'e-learning

Les plates-formes d'e-learning sont des applications qui vont combiner plusieurs types de contenus afin d'améliorer l'apprentissage. Au fil des années et avec l'évolution technologique, plusieurs types de plates-formes ont été développés.

Dans un premier temps, l'e-learning se limitait à des applications permettant aux professeurs de partager avec les étudiants du contenu en rapport avec leurs cours. Ce type de plate-forme intègre bien souvent des contrôles d'accès, des moyens de communication entre le professeur et ses étudiants et des groupes permettant de répartir les étudiants en fonction de leur formation. Le but premier de ces applications est que les étudiants puissent avoir accès aux différents supports de cours qui sont souvent un excellent moyen d'illustrer les notes prises durant le cours.

Ensuite, des plates-formes plus évoluées ont vu le jour. En effet, ces plates-formes, en plus de partager le contenu d'un cours, permettent aussi au professeur de donner un cours

sur Internet. Nommé *MOOC* (pour Massive Open Online Course), ces cours en ligne ont la particularité de rassembler un très grand nombre d'étudiants dispersés géographiquement, l'ensemble des communications concernant le professeur et ses étudiants se faisant via Internet. Les MOOCs sont généralement des cours de niveau universitaire et durent plusieurs semaines et au fil des semaines, des devoirs ou des questionnaires sont soumis aux étudiants afin de vérifier qu'ils suivent activement le cours. Parfois, une certification est accordée à la fin du cours donc cette vérification est nécessaire. Au niveau du contenu, il s'agit généralement de vidéos présentées par le professeur et agrémentée de diapositives.

Ces vidéos sont le plus souvent de courte durée (entre 5 et 15 minutes), enregistrées et parfois sous-titrées. Sur la plupart des plates-formes en ligne, des questionnaires peuvent directement être intégrés au sein de la vidéo afin de maintenir l'attention des étudiants. Pour les devoirs hebdomadaires, il arrive régulièrement que le professeur opte pour le *Peer grading*, c'est-à-dire que les étudiants évaluent le travail des autres étudiants. Dans cette optique, chaque étudiant évalue plusieurs travaux et recevra plusieurs évaluations.

Cette approche qui consiste à diffuser des cours en vidéos tout en interagissant avec les étudiants au travers de travaux et de questionnaires se rapproche des études menées autour du *Multimédia learning*. En effet, selon les résultats de ces études, ce genre de pratique serait plus efficace qu'un cours qui serait proposé sous forme de PDF en ligne. De plus, les corrections faites entre étudiants permettent d'augmenter le degré de maîtrise de la matière tout en développant l'esprit d'analyse [7].

Enfin, avec la popularité grandissante des smartphones ces dernières années, de nouvelles applications d'apprentissage sont apparues. Parmi celles-ci, Duolingo est une application d'apprentissage de langues étrangères qui repose beaucoup sur le *Multimédia learning*. En effet, comme le montre la figure 4.1, l'application utilise des images pour illustrer les réponses proposées à l'utilisateur. Des sons sont également proposés afin que nous puissions aussi apprendre la prononciation des mots.

4.2 Ludification

L'une des constatations des recherches de Richard Mayer est que les éléments multimédia permettent de conserver l'attention sur le contenu à apprendre. La ludification (*Gamification* en anglais) est également un moyen de conserver l'attention et désigne la transposition de certains mécanismes des jeux vidéo dans d'autres domaines, notamment l'apprentissage afin de les rendre plus attractifs [4]. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, la répétition est très utile dans le cadre de la mémorisation mais il est important de motiver les utilisateurs à se servir de ces outils de répétitions et pour y arriver, la ludification peut être une solution.

Durant leurs recherches, Richard Bartle [3] et Nick Yee [38] ont mis en avant que les joueurs n'ont pas tous le même profil et ne recherchent pas forcément les mêmes choses lorsqu'ils jouent à un jeu. Par exemple, Bartle a pu identifier quatre types de motivations (l'exploration, l'accomplissement, la socialisation et l'affrontement) tandis que Yee a mis l'accent sur trois aspects : accomplissement, relations sociales et immersion.

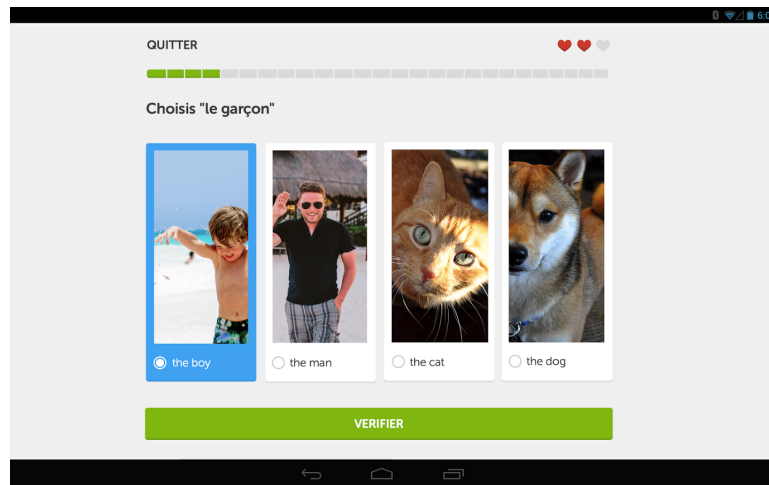


FIGURE 4.1 – Capture d’écran de l’application Duolingo sur Android.

Partant de ces résultats, plusieurs scientifiques du CNRS (Centre national de la recherche scientifique) ont décidé de mettre en pratique la ludification sur une application d’apprentissage de l’orthographe [22]. Étant donné que les motivations des joueurs ne sont pas les mêmes, ils ont eu l’idée de personnaliser les éléments de jeu inclus dans le logiciel d’apprentissage en fonction du joueur. Par exemple, modifier la vitesse de progression en fonction des performances ou proposer un système de badges si l’utilisateur est sensible aux éléments de jeu.

Les systèmes de badges font directement référence à l’accomplissement mis en lumière par Bartle et Yee et se retrouvent dans plusieurs logiciels mettant en place une ludification. Cependant, ce système n’est pas le seul parvenant à motiver les utilisateurs sur base de l’accomplissement. En effet, certaines application, comme Duolingo, propose à l’utilisateur de monter des niveaux en gagnant de l’expérience au fil des leçons (voir la figure 4.2).

L’aspect social est également très important et la plupart des applications l’ont bien compris puisqu’elle permettent régulièrement aux utilisateurs de comparer leur avancement avec celui de leurs amis ou de demander de l’aide lorsqu’ils n’ont pas la solution. L’important est de réussir à motiver l’utilisateur suffisamment pour que l’envie de continuer à utiliser le logiciel (et donc, continuer à apprendre) se fasse ressentir.

Quand nous parlons de ludification, nous parlons également de jeux sérieux (ou *Serious game*) qui désignent les jeux qui sont associés à un autre domaine [13]. En quelques sortes, il s’agit de l’inverse de ce que nous venons d’expliquer. Au lieu d’apporter des mécanismes de jeu dans une application à la base sérieuse, nous amenons du contenu sérieux dans un jeu. Nous pouvons illustrer ce phénomène en citant *Wii-Fit*. Ce jeu édité par Nintendo est livré avec une balance sans fil qui sert également de manette de jeu tout en calculant plusieurs données : l’inclinaison du jour, son poids et son centre de gravité. A partir de ce système, le jeu propose des exercices physiques sous forme de mini-jeux. Par

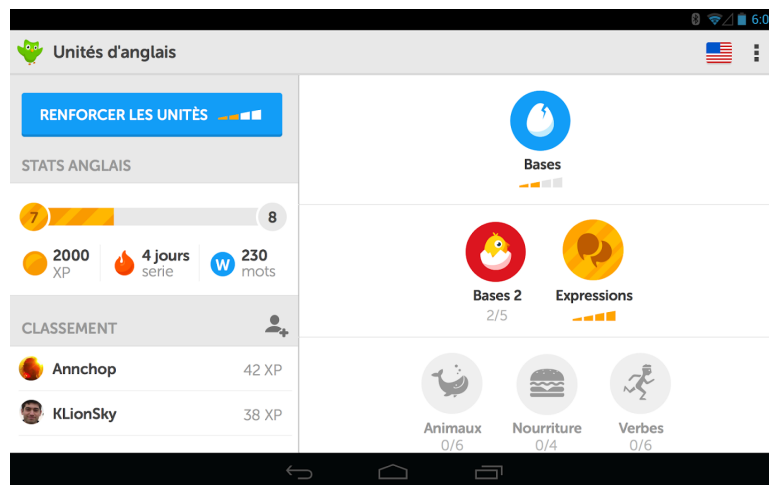


FIGURE 4.2 – Capture d’écran de l’application Duolingo sur Android montrant le système de niveaux.

exemple, un des mini-jeux, illustré par la figure 4.3, consiste concentrer son poids sur un côté de la balance afin d’incliner une plate-forme et faire tomber les billes dans le trou.

Avec ce jeu, Nintendo souhaitait mettre en avant la remise en forme des joueurs (on peut définir un objectif de perte de poids) au travers un jeu et c’est exactement ce que nous entendons quand nous parlons de jeux sérieux.

4.3 Synthèse

Des études ont montré que l’apprentissage est plus efficace quand nous combinons plusieurs types de contenus et particulièrement les images et les sons. Des textes seuls ne permettent pas toujours d’obtenir un encodage des informations suffisant pour qu’elles restent durablement au sein de la mémoire à long terme. Des recherches ont également mis en avant que la concentration et la motivation de l’utilisateur baissent rapidement lorsqu’un seul type de contenu (texte ou image) est utilisé.

Au fil de l’évolution technologique, les logiciels se sont ajoutés aux médias utiles à l’apprentissage et plusieurs types d’outils ont vu le jour. Des plates-formes de partages de contenus jusqu’aux applications mobiles en passant par les cours en ligne massif, les outils se sont diversifiés et améliorés.

Un autre moyen de garder l’utilisateur motivé et concentré consiste à apporter plusieurs mécanismes des jeux-vidéos dans les outils d’apprentissage. Partant de ce constat, plusieurs applications ont transformé l’apprentissage en jeu en intégrant des systèmes basés sur des objectifs à atteindre par l’utilisateur ou les relations sociales.



FIGURE 4.3 – Illustration de Wii-Fit.

Deuxième partie

Réalisation

Chapitre 5

Projet Hyperlearning

Dans ce chapitre nous verrons comment fonctionne le projet "Hyperlearning". La section 5.1 explique ce qui se cache derrière ce projet et comment nous l'avons réalisé. Ensuite, nous détaillerons les différentes actions possibles pour les acteurs du projet dans les sections 5.2 et 5.3. Enfin, nous terminerons par la section 5.4 qui expose les techniques utilisées afin de proposer une plate-forme d'aide à l'apprentissage.

Bien que la plate-forme puisse être utilisée dans tous les cas où nous souhaitons partager des connaissances avec d'autres personnes, nous utiliserons la relation d'un professeur et d'un étudiant comme exemple général d'utilisation. À terme, l'objectif est de proposer la plate-forme en outil de collaboration où chacun pourrait être un professeur qui partage des connaissances ou un étudiant qui désire apprendre.

5.1 Fonctionnement général

L'un des objectifs du projet "Hyperlearning" est de voir comment nous pouvons interagir sur différents concepts liés à l'apprentissage et à la mémoire en utilisant les technologies actuelles. Le résultat attendu est une plate-forme adaptée à tous les types d'appareils possédés par les étudiants d'aujourd'hui : ordinateurs portables, smartphones et tablettes.

La plate-forme peut jouer deux rôles. D'une part, elle propose des questionnaires à choix multiples (QCM) avec ou sans images. Les étudiants qui répondent aux questionnaires en ligne intègrent les connaissances des cours plus facilement tout en profitant d'un accès facile, d'une autonomie de travail, d'une flexibilité dans le temps de travail et d'un rythme adapté à chacun. Les étudiants peuvent avoir accès aux QCM avant ou après les cours, les deux situations procurent des avantages différents. En effet, les questions après un cours fournissent de la répétition et un retour sur les informations apprises plus tôt tandis que les questions avant incitent l'étudiant à se concentrer sur l'information lorsqu'il la recevra au cours.

D'autre part, la plate-forme web peut jouer le rôle d'une "personne" présente constamment avec l'étudiant. En temps normal, lorsqu'un étudiant répond à des exercices donnés par un professeur, il doit attendre une correction avant de pouvoir évaluer ses connaissances. Ce problème est résolu puisqu'un retour est instantanément donné à l'étudiant après validation de sa réponse à une question. Il sait directement si sa réponse est correcte et une explication

rédigée préalablement par le professeur est fournie. Ce procédé de retour après chaque question permet de faire des liens entre les connaissances tout en procurant des rappels d'informations et de corriger directement les éventuelles erreurs avant qu'elles ne se figent plus longtemps dans la mémoire de l'étudiant.

Afin de tenir compte de l'apprentissage individuel et d'utiliser le plus efficacement les concepts théoriques liés à l'apprentissage, les questionnaires ne sont pas générés aléatoirement. Lors de la génération d'une nouvelle série de questions, la plate-forme tient compte des précédentes réponses de l'étudiant ainsi que son temps de réponse. Leur impact sur les questionnaires est expliqué en détails dans le chapitre 7.

5.2 Fonctionnement - Administration

Les professeurs sont les premiers acteurs de la plate-forme et l'administration leur permet de créer les questionnaires à choix multiples qui sont triés par thèmes. Tout d'abord, il faut donc créer les thèmes qui accueilleront les questionnaires. Comme l'illustre la figure 5.1, les thèmes peuvent avoir un parent. La représentation des thèmes la plus adéquate sera celle d'une forêt, c'est-à-dire qu'il existe un ou plusieurs thèmes sans parent qui symbolisent les racines des arbres auxquelles nous ajoutons d'autres thèmes représentant les branches de l'arbre (c'est-à-dire qu'ils sont les enfants des racines). La taille de l'arbre est laissée libre, ce qui signifie qu'il n'y a pas de restriction quant au nombre d'enfants d'un thème et qu'il n'y a pas limite concernant la profondeur de l'arbre. Par profondeur, nous entendons le nombre de thèmes séparant une feuille (un thème sans enfant) et sa racine, calculé en comptant les relations parent-enfant de la racine à la feuille.

Id	Name	Parent	Actions	Created	Modified
6	Introduction à la psychologie	Psychologie	Edit Delete Questions	2014-10-21 14:29:09	2014-12-04 16:33:19
7	La mémoire	Psychologie	Edit Delete Questions	2015-07-13 11:57:24	2015-07-13 11:57:24
8	Le stress	Psychologie	Edit Delete Questions	2015-07-13 11:57:50	2015-07-13 11:57:50

Showing 1 to 3 of 3 entries

Previous 1 Next

Actions

[Add Theme](#)

FIGURE 5.1 – Administration des thèmes

Un exemple pour illustrer cette représentation de la forêt pourrait être la découpe d'un cours en différents chapitres. D'abord, nous avons le thème "Psychologie" qui représente la racine. En second lieu, nous ajoutons des enfants à ce thème en créant plusieurs nouveaux

thèmes : "Introduction à la psychologie", "Apprentissage", etc. Pour terminer cet exemple, nous pourrions également créer un thème concernant la médecine et ajouter "Psychologie" comme enfant de ce nouveau thème. Par conséquent, la nouvelle racine sera le thème "Médecine".

D'autres thèmes racines pourraient être ajoutés comme le montre la figure 5.2.

```

- Médecine
  - Psychologie
    - Introduction à la psychologie
    - Apprentissage
    - La mémoire
    - ...
  - Pharmacie
- Informatique
  - Les langages de programmation
    - C#
    - Java
      - Introduction à Java
      - Les interfaces
      - ...
  - Les Design Patterns

```

FIGURE 5.2 – Représentation schématique des thèmes

Ensuite, lorsque les thèmes sont créés, nous pouvons passer à la création des questionnaires à choix multiples. Pour gérer les questions, il suffit de cliquer sur le bouton correspondant (voir figure 5.1) afin d'afficher les éventuelles questions déjà créées pour un thème. Lors de l'ajout d'une nouvelle question, les informations suivantes sont demandées :

Le type de la question Chaque question appartient à un type. Par exemple, nous pouvons avoir des définitions, des dates, etc. Le type d'une question est utilisé pour la génération des réponses. Plus concrètement, lorsqu'un étudiant est face à une question lors d'un questionnaire à choix multiples, plusieurs réponses vont lui être proposées. L'une de ces réponses est correcte et enregistrée par le professeur lors de la création de la question mais les autres, qui sont fausses, seront générées aléatoirement en reprenant les réponses des autres questions du même type et appartenant au même thème.

Par exemple, nous pourrions avoir deux définitions de psychologie enregistrées par un professeur : Mémoire à long terme et Mémoire sensorielle. Lorsque la définition de la mémoire à long terme est demandée à un étudiant, il est possible que la définition de la mémoire sensorielle se retrouve dans les réponses proposées.

L'énoncé de la question

L'explication de la réponse Cette explication est rédigée par le professeur afin de donner les raisons de la bonne réponse. Peu importe la réponse de l'étudiant, cette explication sera affichée avant de passer à la question suivante et il est important d'informer directement si la réponse est juste ou non et lui donner une explication quel que soit le cas. Cette explication permet de faire des liens entre les différents points de la matière. Le chapitre 6 détaillera mieux les raisons de cet aspect.

Éventuellement, une image Une image peut être ajoutée afin d'illustrer une question. Une image permet d'accroître la mémorisation comme nous le verrons dans le chapitre 6.

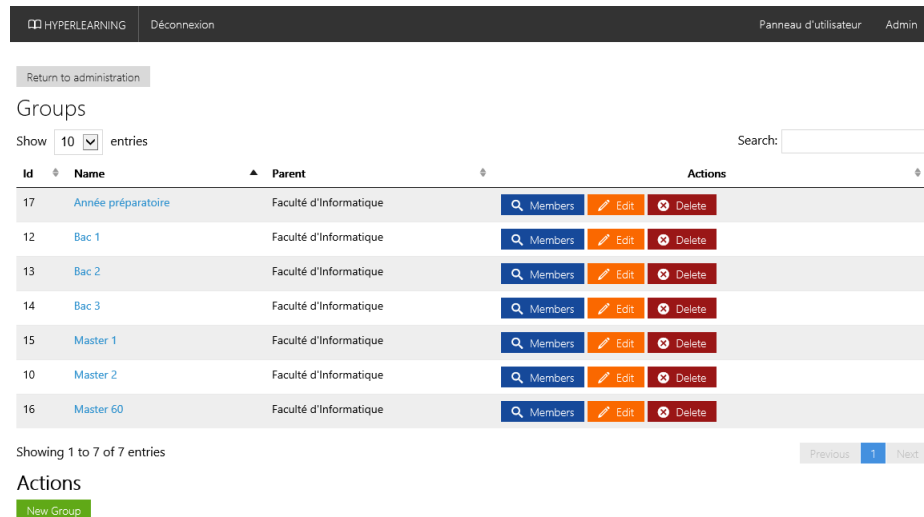


FIGURE 5.3 – Administration des groupes

Enfin, il est possible de gérer des groupes d'utilisateurs. Typiquement, les groupes principaux représentent les différentes facultés et dans chacun de ces groupes, nous retrouvons les différentes années possibles comme nous pouvons le voir sur la figure 5.3. Comme pour les thèmes, le niveau de profondeur est laissé à la discrétion des professeurs.

5.3 Fonctionnement - Étudiant

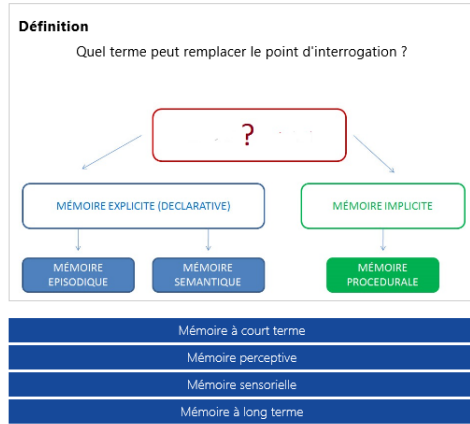
Les étudiants seront les principaux acteurs de notre plate-forme. Ils peuvent s'inscrire à un ou plusieurs thèmes en fonction de leur envie, mais il est également possible d'inscrire un étudiant à un thème sans son consentement en inscrivant l'un de ses groupes via l'interface d'administration. Un étudiant peut répondre à un QCM concernant un thème autant de fois qu'il le désire à la condition qu'il reste des questions à proposer. Les techniques gérant la génération des QCM sont expliquées dans les chapitres 6 et 7.

Comme la figure 5.4 le montre, l'étudiant peut sélectionner une réponse lorsqu'une question est proposée et un chronomètre invisible pour l'utilisateur est lancé. Après validation de la réponse, l'étudiant sait instantanément si sa réponse est correcte et l'explication fournie par le professeur est affichée.

À la fin d'un QCM, un récapitulatif est affiché avec le score total et le détail pour chacune des questions :

- L'énoncé de la question.
- La bonne réponse.

Question n°5



Question n°5

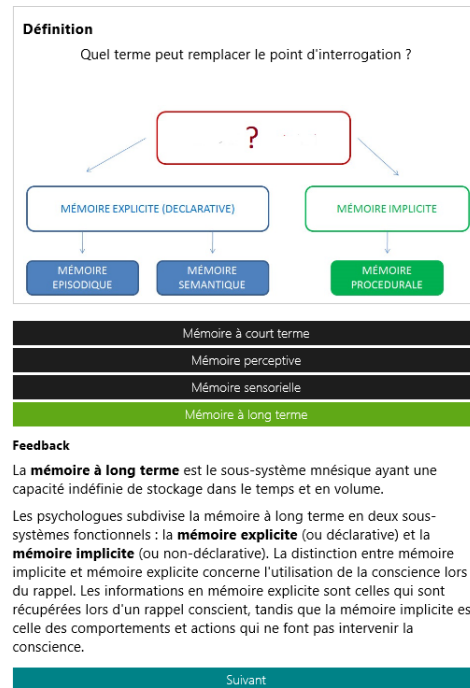


FIGURE 5.4 – A gauche : question avant réponse. A droite : question après validation d’une réponse avec explication.

- Si l’étudiant avait répondu correctement ou non à cette question.
- Le temps de réponse de l’étudiant à cette question.

5.4 Choix technologiques

L’un des pré-requis du projet est qu’il puisse tourner sur l’ensemble des appareils possédés par les étudiants d’aujourd’hui et il existe plusieurs possibilités pour remplir cet objectif :

- Application mobile native
- Sites web dédiés (classique + mobile)
- Utiliser un site unique, peu importe le type d’appareils

Dans la suite de cette section, nous verrons que toutes les propositions ci-dessus possèdent des avantages et des inconvénients et qu’il a fallu faire des choix.

5.4.1 Application mobile native

En premier lieu, une application mobile a été évoquée, mais l’idée a été abandonnée car elle n’offrait pas la possibilité de toucher un maximum d’étudiants.

En effet, plusieurs systèmes d’exploitation cohabitent aujourd’hui sur le marché et selon

une étude de l'organisme IDC [6], Android dominerait le marché avec 78% des parts comme le montre la figure 5.5. Si nous considérons que ces statistiques valent également pour les étudiants belges, nous arrivons à la conclusion que près d'un étudiant sur quatre ne pourrait pas profiter de la plate-forme si celle-ci était développée en tant qu'application mobile sur un seul système.

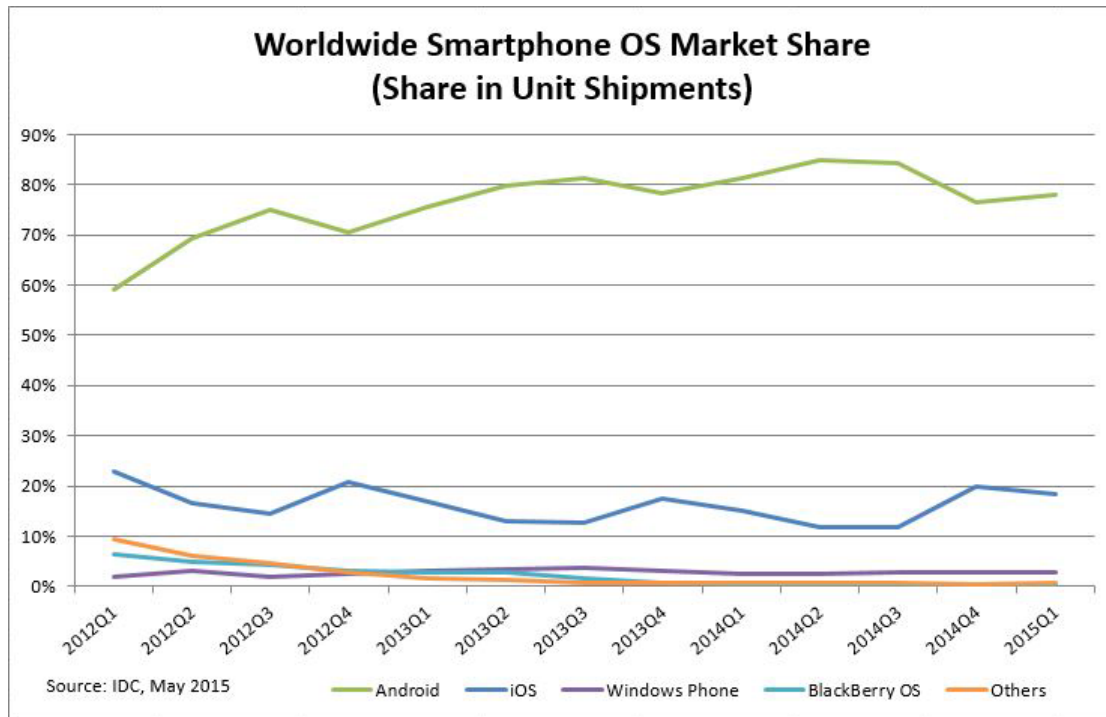


FIGURE 5.5 – Parts de marché pour les systèmes d'exploitation mobiles dans le monde en mai 2015

Pour palier à ce problème, le développement de plusieurs applications (une par système) aurait pu être une solution mais nécessitait beaucoup plus de ressources (humaines et financières). Outre la possibilité de développer une application par système, une autre solution aurait été de profiter des solutions multi-plateformes comme les outils Xamarin. Xamarin est une plate-forme permettant de développer des applications natives pour iOS, Android et Windows, mais avec la particularité que le développement n'est réalisé une seule fois (en C#) : Xamarin s'assurant de la compatibilité entre le code et les fonctions natives des systèmes. Malheureusement, le coût des licences d'exploitation pour un projet tel que Hyperlearning a écarté cette possibilité. De plus, dans le cadre strict de l'apprentissage, aucune fonctionnalité ne nécessitait spécifiquement l'utilisation d'un smartphone (accéléromètre, GPS, etc.).

5.4.2 Sites Web dédiés

Étant donné que l'idée d'une application mobile a été abandonnée, nous nous sommes tournés vers le développement Web avec également un choix à faire : un ou deux sites Web ?

La question se pose car il existe plusieurs méthodes pour proposer un service Web aussi bien aux ordinateurs classiques qu'aux appareils mobiles. La première d'entre elles consiste à concevoir deux sites distincts avec un test du côté du serveur qui renverrait l'utilisateur sur l'un ou l'autre en fonction du type d'appareil.

La solution de proposer un site Web dédié aux mobiles offre l'avantage de pouvoir affiner la structure du site en fonction de l'appareil. Étant donné que nous sommes convaincus que la majorité des utilisateurs utilisera un appareil mobile sur ce site, nous pouvons adapter ce dernier avec, par exemple, une meilleure prise de certains contrôles (localisation, tactile, etc.).

Cependant, l'inconvénient majeur de cette technique se situe au niveau de la maintenance : maintenir deux sites Web distincts nécessite plus de ressources. La duplication est également un problème majeur puisque les modifications devront être portées à plusieurs endroits différents.

5.4.3 Responsive Web Design

Introduit par Ethan Marcotte en 2010 [15], le Responsive Web Design est le principe que nous avons choisi pour offrir une plate-forme unique à l'ensemble des utilisateurs, qu'ils aient un appareil fixe ou mobile. Grâce à des modifications du côté client, le site Web doit pouvoir s'adapter automatiquement à l'appareil utilisé [16]. Le principal avantage par rapport au site Web dédié aux mobiles est que nous n'avons qu'un seul projet à maintenir.

Pour parvenir à ne proposer qu'un seul site qui s'adapte à l'appareil, plusieurs techniques entrent en jeu, mais la globalité d'entre elles sont dépendantes du CSS.

Le CSS (Cascading Style Sheets) est très important dans la conception de sites Web. Le CSS définit la manière dont les éléments HTML sont affichés et a été introduit avec HTML 4.0 pour résoudre un problème : la conception de sites Web est devenue un cauchemar avec l'introduction des balises pour les couleurs et les polices d'écriture. Le CSS est là pour régler ce souci en séparant la définition du contenu (HTML) et son formatage (CSS) [35]. Un fichier CSS contient un ensemble de règles qui s'appliquent aux éléments HTML et qui contiennent la mise en forme de ces derniers.

Dans le cadre du Responsive Web Design, nous utilisons largement les possibilités offertes par le CSS. Tout d'abord, nous devons définir les largeurs des éléments en utilisant des unités qui ne sont pas fixes. Généralement, on préférera définir la largeur des éléments structurels en pourcentage plutôt qu'en pixels. La raison derrière ce choix est très simple : en utilisant les pourcentages, notre structure s'adaptera automatiquement en fonction de la largeur d'écran.

Ensuite, les *Media Queries* disponibles dans CSS3 entrent en jeu et permettent d'afficher les éléments de la page différemment en fonction de l'appareil utilisé pour la navigation Web. D'un point de vue pratique, nous devons utiliser la balise HTML *link* pour faire appel à un fichier CSS et depuis CSS2, il est possible d'ajouter un attribut *media* qui permet d'inclure un fichier CSS différent selon la situation : si l'appareil possède un écran, si c'est une imprimante, un projecteur, etc. Par exemple, nous pouvons utiliser des mises en forme différentes lors de l'affichage classique ou pour une impression :

```
<!doctype html>
<head>
<meta charset="utf-8">
...
<link rel="stylesheet" media="screen" href="screen.css" type="text/css" />
<link rel="stylesheet" media="print" href="print.css" type="text/css" />
...
</head>
<body>
...
</body>
```

Nous pouvons également utiliser un seul fichier CSS et inclure la différence en utilisant les règles CSS *@media* :

```
@media print {
  body {
    color:black;
    background-color:white;
  }
}
```

Avec CSS3 et les *Media Queries*, nous pouvons aller beaucoup plus loin pour affiner l'affichage des éléments puisque des connecteurs logiques sont disponibles. Ainsi, nous pouvons utiliser les mots-clés *and*, *only*, *not* et le point-virgule (équivalent d'un *ou*) pour écrire des requêtes qui seront évaluées par le navigateur. Par exemple, les lignes suivantes permettent de créer une règle CSS qui agira sur les périphériques dont la largeur d'écran est inférieure à 720 pixels (nous pouvons aussi utiliser la balise *link* en affectant la requête à l'attribut *media*) :

```
@media screen and (max-width: 720px) {
  ...
}
```

Comme l'explique le W3C dans ses recommandations [27], les *Media Queries* permettent de cibler très spécifiquement les appareils pour afficher une page Web de manière optimale sur chacun d'entre eux. Étant donné que nous souhaitons que notre site Web s'affiche sur

les ordinateurs, les tablettes et les smartphones, nous avons utilisé ces techniques pour afficher les éléments de notre interface. La figure 5.6 donne un aperçu de cette utilisation en montrant que le menu est affiché différemment si nous naviguons à l'aide d'un ordinateur ou d'un appareil mobile. Lors de la navigation mobile, le menu du site est replié au sein d'un bouton (communément appelé *bouton hamburger*) qui se déroule à la verticale lorsque l'utilisateur appuie dessus. On peut également voir que les textes ont des tailles différentes selon le mode de navigation.

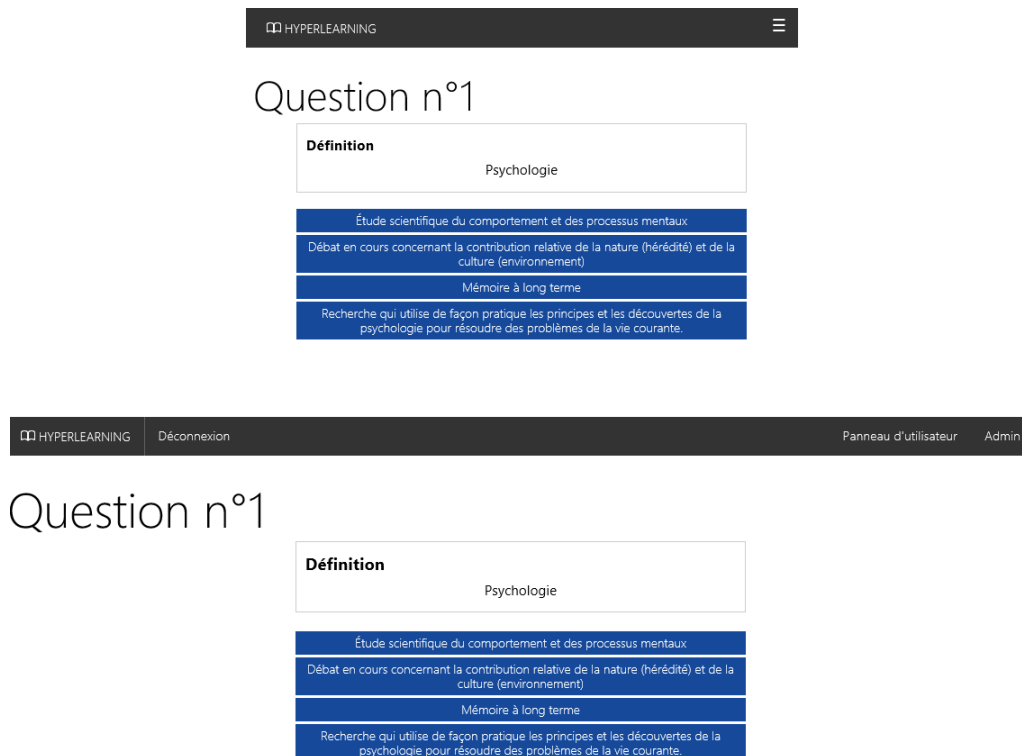


FIGURE 5.6 – En haut : le site affiché sur un mobile. A droite : le site en version classique, affiché sur un ordinateur.

5.4.4 Appels asynchrones et sécurité

Afin de rendre le système plus interactif, nous utilisons l'architecture *AJAX* (*Asynchronous JavaScript and XML*) pour réaliser des appels asynchrones. Ces appels faits à l'aide du langage JavaScript nous permettent, par exemple, de vérifier que la réponse à une question est correcte lorsque l'étudiant valide, sans rafraîchir la page en cours. Lors de la vérification de la réponse à la question, nous envoyons une chaîne de caractères contenant l'identifiant du test, le numéro de la question et la réponse de l'étudiant. Sur base de cette chaîne, le serveur dit si la réponse donnée est correcte ou non.

Cependant, le code JavaScript, tout comme le code HTML, n'est pas compilé et est envoyé à l'utilisateur lorsqu'il navigue sur le site. Par conséquent, nous devons également

mettre en place des sécurités qui empêcheraient l'utilisateur de lire le code source afin de pouvoir tricher aux questionnaires.

La sécurité mise en place sur la plate-forme pour éviter les appels asynchrones qui ne sont pas légitimes est simple mais efficace. En réalité, nous ajoutons un élément à la chaîne envoyée au serveur lors de l'appel. Cet élément est un identifiant chiffré à l'aide d'une clé secrète et de l'algorithme RSA. Lorsque le serveur reçoit les données, nous déchiffrons l'élément et vérifions son intégrité. Si ça correspond, nous effectuons les différentes opérations sur les données.

Sans connaître la clé secrète et les éléments chiffrés, il n'est pas possible de réaliser un appel dans le but d'obtenir la réponse à une question.

5.5 Synthèse

Le projet "Hyperlearning" est une plate-forme Web d'aide à l'apprentissage. D'une part, des administrateurs ajoutent des questions à la base de données en fournissant plusieurs informations dont une explication et éventuellement une image. D'autre part, les utilisateurs se connectent afin de répondre à des QCM générés selon des principes qui seront expliqués dans le chapitre 7. Après chaque réponse donnée, il est important qu'un retour soit instantanément fourni afin de consolider les connaissances de l'utilisateur et corriger les éventuels erreurs.

L'utilisation d'un site Web a été préférée pour plusieurs raisons dont la principale est que nous pouvons toucher un maximum de personnes sans nous préoccuper de l'appareil utilisé (ordinateurs, smartphones, tablettes, etc.). Pour réaliser cette plate-forme, nous utilisons énormément les technologies Web qui sont disponibles à l'heure actuelle et plus particulièrement le CSS qui nous permet d'adapter notre site à l'appareil.

Chapitre 6

Mise en oeuvre

Comme expliqué dans les chapitres 1 et 2, il est possible d’optimiser l’acquisition de nouvelles informations. Dans ce chapitre, nous expliquons comment nous pouvons agir sur la mémorisation et l’apprentissage en utilisant les nouvelles technologies. L’objectif du projet ”Hyperlearning” étant de faciliter l’encodage, le stockage et la récupération à long terme d’informations, nous devons mettre en place les différents moyens qui facilitent le traitement de l’information lorsqu’elle arrive au palier de la mémoire sensorielle jusqu’à ce qu’elle soit stockée dans la mémoire à long terme.

6.1 Organisation

L’organisation des données est un des éléments essentiels pour garantir une bonne mémorisation des informations. Organiser les données en blocs permet d’augmenter la capacité de la mémoire à court terme et est très utile pour l’encodage au sein de la mémoire à long terme. La structure des thèmes mise en place sur la plate-forme a été imaginée afin de répondre à cette demande d’ordre : le fait d’avoir des thèmes et des sous-thèmes permet d’avoir une première organisation des informations en fonction de leur contenu.

Nous avons déjà abordé la notion des thèmes dans la section 5.2 du chapitre 5, nous avons symbolisé cette structure par un arbre, mais, plus simplement, nous pouvons dire que nos thèmes sont hiérarchisés. C’est-à-dire que chaque thème possède un parent et 0 ou plusieurs enfants comme le montre la figure 6.1 (exception faite pour les thèmes racines qui n’ont pas de parent). Dans la suite de ce chapitre, nous verrons qu’il existe plusieurs techniques pour représenter cette relation en SQL en fonction des besoins.

Note Les groupes d’étudiants tels que nous les avons décrits dans le chapitre 5 sont gérés de la même manière que les thèmes. Dans cette section, nous ne parlerons que des thèmes mais il ne faut pas oublier que tout est applicable aux groupes également.

6.1.1 Les listes d’adjacence

Notre première idée pour représenter les thèmes dans la base de données a été, de manière intuitive, d’ajouter une clé étrangère à la table des thèmes qui pointe vers elle-même. Cette

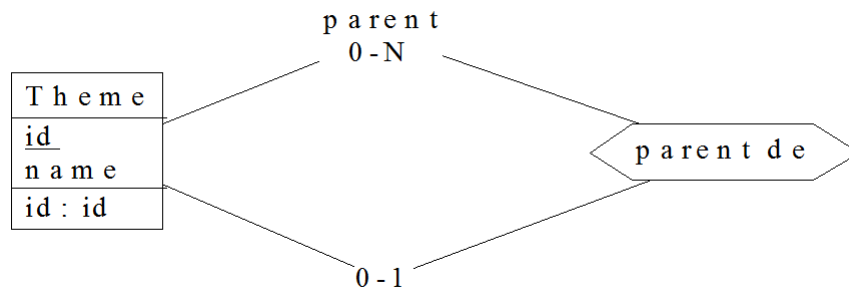


FIGURE 6.1 – Schéma conceptuel illustrant la relation entre un thème et son parent.

clé étrangère, représentée par la figure 6.2, a pour but de représenter le lien qui unit un thème à son parent et puisqu’il existe des thèmes racines, celle-ci peut être nulle. Cette manière de représenter une hiérarchie en assignant à chaque élément un pointeur vers son parent est appelé modèle des listes d’adjacence [28].

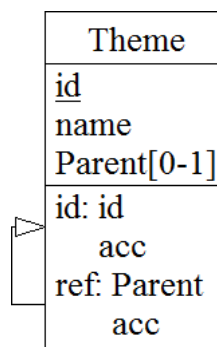


FIGURE 6.2 – Schéma relationnel illustrant la relation entre un thème et son parent grâce à une clé étrangère

Il est très simple d’ajouter un nouveau noeud en utilisant cette technique puisqu’il suffit de préciser l’identifiant du parent et, de la même manière, il est facile de récupérer les enfants d’un noeud (la liste des enfants récupérés est une liste d’adjacence). La suppression d’un noeud nécessite de vérifier qu’aucun noeud ne sera orphelin après cette action, mais des vérifications basiques ou une suppression en cascade permettent de résoudre ce problème si on y fait attention.

Cependant, cette solution a un énorme désavantage pour l’organisation des thèmes. En effet, l’ordre des thèmes présents dans une liste d’adjacence (les thèmes enfants) est arbitraire. Nous pourrions les trier par ordre alphabétique ou laisser le système décider pour nous mais cette méthode ne serait pas optimale. Par exemple, si nous prenons les enfants du thème de la psychologie, nous aimerions avoir ”Introduction” avant ”Apprentissage”.

De plus, récupérer le chemin vers un noeud (c'est-à-dire le moyen de retrouver un noeud depuis la racine jusqu'au noeud en question. Exemple : Médecine - Psychologie - Introduction à la psychologie) nécessite d'écrire une requête SQL qui fait appel à plusieurs jointures à gauche. En réalité, le nombre de jointures requises est lié au niveau de profondeur du noeud choisi. Si nous reprenons notre exemple, la requête pour récupérer le chemin ressemblerait à ceci :

```
SELECT n1.name, n2.name, t3.name
FROM theme AS n1
LEFT JOIN theme AS n2 ON n2.Parent = n1.id
LEFT JOIN theme AS n3 ON n3.Parent = n2.id
WHERE n1.name = 'Médecine' AND n3.name = 'Introduction à la psychologie';
```

Comme dans le cas de la suppression où il faut vérifier les éventuels noeuds enfants qui deviendraient orphelins, ce problème peut être contourné du côté du client qui fait appel à la base de données. Une des solutions de ce type serait de récupérer le chemin à l'envers, en partant du bas (Introduction à la psychologie) et en remontant la hiérarchie tant qu'un parent existe. Néanmoins, une autre technique pour hiérarchiser des données au sein d'une base de données relationnelle existe et elle résout l'ensemble des problèmes rencontrés (particulièrement celui de l'ordre des enfants).

6.1.2 Les ensembles imbriqués

Cette deuxième technique est inspirée des ensembles et permet également de représenter la relation enfant-parent que nous recherchons.

Mike Hillyer [11] nous explique que nous ne devons plus représenter notre hiérarchie comme un graphe composé de noeuds lorsque nous réfléchissons en termes d'ensembles imbriqués. Comme le montre la figure 6.3, nous pouvons transformer les noeuds en ensembles qui peuvent contenir d'autres ensembles (leurs noeuds enfants) tout en conservant la hiérarchie.

D'un point de vue pratique, nous devons assigner une valeur à gauche et une valeur à droite à chaque élément de la hiérarchie. Les valeurs sont assignées en lisant les ensembles de gauche à droite, ce qui est illustré par la figure 6.4. Bien que nous travaillons avec des ensembles, nous pouvons également travailler sous la forme d'un arbre comme le montre la figure 6.5 et dans ce cas, nous commençons par assigner la valeur 1 à gauche du noeud racine. Ensuite, nous descendons dans l'arbre en continuant d'assigner des valeurs à gauche. Lorsque nous arrivons à une feuille (un noeud sans enfant), la prochaine valeur à assigner sera celle à droite de la feuille. Enfin, nous reprenons par la valeur gauche du frère du noeud (un noeud avec le même parent) ou alors nous remontons d'un palier et assignons la valeur droite du parent.

Dans un souci de compréhension, nous utiliserons cette représentation dans la suite du chapitre.

Si nous portons cette méthode en SQL, nous devons rajouter deux colonnes à notre table contenant les thèmes pour conserver les valeurs à gauche et à droite. Il est important de

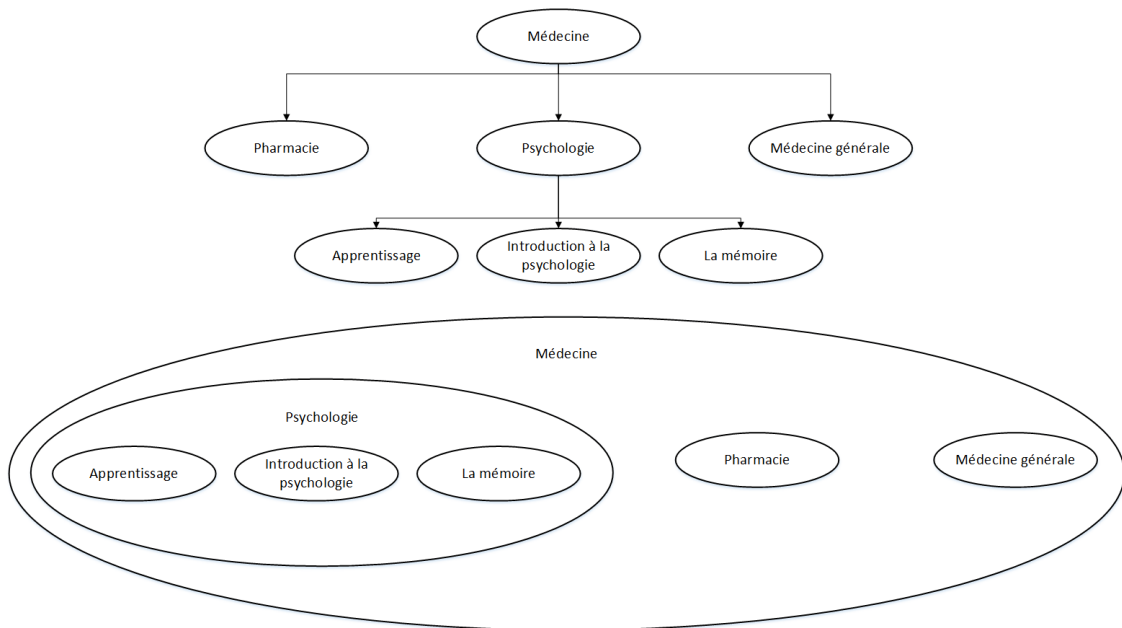


FIGURE 6.3 – En haut : un graphe représentant la hiérarchie des thèmes. En bas : les mêmes thèmes mais représentés sous forme d’ensembles.

noter que ces colonnes sont généralement notées *lft* et *rgt* car *left* et *right* sont des mots réservés en SQL. La figure 6.6 illustre ce changement dans notre table.

Par conséquent, nous n’avons plus besoin de conserver la clé étrangère pointant vers le parent d’un noeud : la structure de l’arbre est stockée grâce aux valeurs *lft* et *rgt*. Si nous prêtons attention aux valeurs à gauche et à droite des noeuds, nous remarquons qu’un noeud est enfant d’un autre si et seulement si sa valeur à gauche est strictement plus grande que celle de son parent et celle de droite strictement plus petite que celle du parent. Prenons les noeuds Psychologie et Apprentissage qui ont respectivement les valeurs 4|11 et 5|6. Apprentissage est l’enfant de Psychologie car $5 > 4$ et $6 < 11$. Notons que les valeurs des colonnes ne doivent pas être uniques. Comme nous le verrons dans la suite du chapitre, il est possible que deux noeuds possèdent temporairement des valeurs identiques (par exemple, lors de la suppression) donc les valeurs *lft* et *rgt* ne doivent pas être uniques dans la table.

L’algorithme qui consiste à parcourir l’arbre tout en numérotant les noeuds est appelé *modified preorder tree traversal* [11][34].

Pour la plate-forme ”Hyperlearning”, nous avons choisi cette méthode pour enregistrer les thèmes dans la base de données. Les raisons derrière ce choix sont multiples. En premier lieu, nous ne connaissons pas le niveau de profondeur à l’avance. En d’autres termes, comme nous ne limitons pas la profondeur des thèmes lors de l’administration (voir la section 5.2 du chapitre 5), il serait difficile de réaliser certains tâches en utilisant la méthode des listes d’adjacence (Exemple : récupérer le chemin complet d’un noeud). Ensuite, nous souhaitons pouvoir ordonner les thèmes facilement, une manipulation qui n’est pas possible lorsque

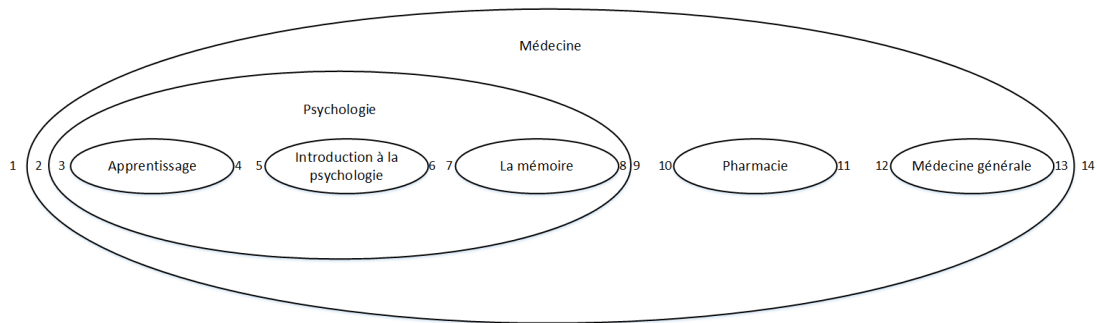


FIGURE 6.4 – Représentation en ensembles avec les valeurs à gauche et à droite.

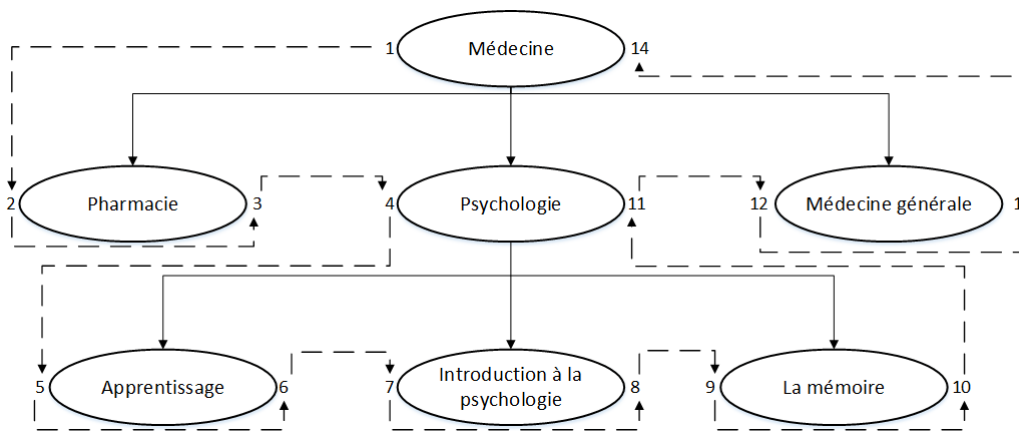


FIGURE 6.5 – Représentation sous forme d'arbre avec les valeurs à gauche et à droite et le sens de lecture.

nous ajoutons simplement une clé étrangère dans notre table. Nous pourrions ajouter une colonne qui déterminerait la position du noeud parmi ses frères et ainsi résoudre le problème d'ordre, mais une autre raison explique le choix des ensembles imbriqués.

Dans les contraintes techniques du projet, il est nécessaire que le projet tourne à l'aide de *MySQL*. Or, il s'avère que ce système de gestion de base de données ne supporte pas les requêtes récursives et plus particulièrement la clause *CONNECT BY* qui permet de faire le lien entre un parent et son enfant, ce qui facilite la récupération des données [25]. Ce manque peut être compensé à l'aide des variables de sessions gérées par *MySQL*, mais des tests ont montré que les performances sont nettement inférieures par rapport à l'utilisation des ensembles imbriqués [9].

Par conséquent, il est conseillé d'utiliser les ensembles imbriqués lorsque nous utilisons *MySQL* et que les requêtes de récupération (*SELECT*) sont plus importantes que les requêtes modifiant les données (*INSERT*, *DELETE*, *UPDATE*) car ces dernières sont plus gourmandes en ressources. En effet, comme nous le verrons dans la suite de cette section, il est plus compliqué d'ajouter ou supprimer un noeud lorsque nous utilisons les ensembles

Theme
<u>id</u>
name
lft
rgt
id: id

FIGURE 6.6 – Schéma conceptuel illustrant la relation entre un thème et son parent grâce aux champs lft et rgt

imbriqués mais la récupération des données est nettement plus simple.

Nous aurions également pu régler ce problème directement dans le code appelant la base de données mais là aussi, un problème de performances se posait. En effet, nous développons la plate-forme en *PHP* (contrainte technique également) et il semble que ce langage de programmation gère mal les appels récursifs au niveau de la mémoire [31][17]. Étant donné qu'il faudrait, par exemple, 4 appels récursifs d'une fonction pour atteindre un noeud avec une profondeur de 3, nous avons préféré gérer la hiérarchie au maximum au niveau de notre base de données, à l'aide du modèle des ensembles imbriqués.

Nous prenons pour hypothèse que les noeuds seront grandement modifiés durant le début de vie de la plate-forme (il faut un peu de temps pour créer la structure des thèmes) mais qu'il y aura bien plus de requêtes de récupération par la suite (navigation au sein du site, inscription à un thème,...). Si nous avions utilisé un autre système de gestion de base de données (Oracle, SQL Server, etc.), nos choix auraient sans doute été différents puisque *MySQL* est le seul système où les ensembles imbriqués montrent de meilleures performances (les autres systèmes utilisent les requêtes récursives pour être plus performants). La suite de cette section aborde les actions possibles sur les thèmes lorsque nous utilisons le modèle des ensembles.

Retrouver le chemin d'un thème Lorsque nous utilisons la méthode des ensembles, il est assez simple de retrouver le chemin d'un noeud. Par chemin, nous entendons une liste comprenant le noeud en question et l'ensemble de sa hiérarchie (son parent, le parent du parent, etc.). Par exemple, sur la figure 6.7, le chemin pour le thème Apprentissage serait *Medecine* → *Psychologie* → *Apprentissage*.

Comme nous l'avons vu, la hiérarchie des noeuds est stockée grâce aux valeurs à gauche et à droite. De part l'algorithme MPTT, un noeud qui possède des valeurs à gauche et à droite non consécutives possède forcément au moins un enfant. De plus, les valeurs d'un noeud sont forcément comprises entre les valeurs de son parent. Si nous reprenons notre exemple impliquant Psychologie et Apprentissage, les valeurs d'Apprentissage (5|6) sont comprises entre 4 et 11 qui sont les valeurs de Psychologie.

D'ailleurs, les valeurs d'Apprentissage sont également comprises entre celles de Médecine (1|14), ce qui permet de déduire que nous pouvons retrouver la hiérarchie d'un noeud simplement en retrouvant l'ensemble des noeuds dont les valeurs bornent celle du noeud

en question. La requête SQL suivante permet de mettre en pratique cette déduction et d'obtenir le chemin complet d'un thème :

```
SELECT parent.name
FROM themes AS theme, themes AS parent
WHERE theme.lft BETWEEN parent.lft AND parent.rgt
      AND theme.name = 'Apprentissage'
ORDER BY node.lft;
```

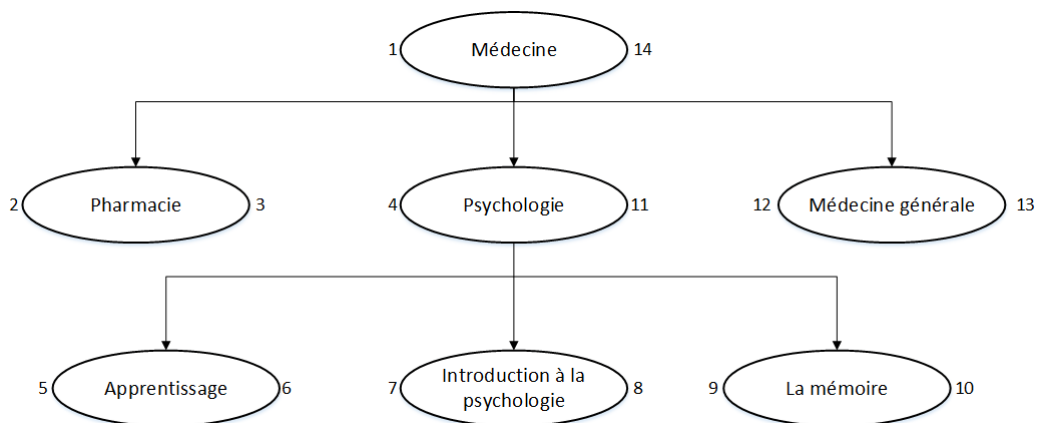


FIGURE 6.7 – Représentation sous forme d'arbre avec les valeurs à gauche et à droite.

Ajouter ou supprimer un thème Étapes très importantes dans l'administration de la plate-forme, l'ajout et la suppression d'un thème ne peuvent pas se faire n'importe comment.

Voyons dans un premier temps comment nous pouvons ajouter un thème à notre arbre. Par exemple, reprenons notre arbre présent sur la figure 6.7 et ajoutons "Le stress" comme enfant de Psychologie entre "Introduction à la psychologie" et "La mémoire". Comme un nouveau noeud a été ajouté, les valeurs d'une partie des noeuds déjà présents doivent être modifiées et étant donné qu'un noeud possède deux valeurs, il suffit d'ajouter 2 aux valeurs qui sont supérieures à celles du nouveau thème.

Cette modification, illustrée par la figure 6.8, peut être réalisée en procédant comme suit :

- Nous récupérons la valeur à droite du noeud après lequel doit être ajouté notre nouveau thème. Dans notre cas, nous récupérons la valeur à droite du thème "Introduction à la psychologie".
- Nous mettons à jour tous les noeuds dont la valeur à droite est supérieure à celle du noeud récupéré à la première étape. La mise à jour consiste à ajouter 2 aux valeurs à gauche et à droite. Si nous comparons les figure 6.7 et 6.8, les valeurs qui ont été modifiées ont été soulignées.
- Nous ajoutons notre nouveau noeud en lui attribuant des valeurs à gauche et à droite respectivement en ajoutant 1 et 2 par rapport à la valeur récupérée à l'étape

1. Dans notre exemple, nous avons récupéré 8 donc les valeurs de notre thème seront 9|10.

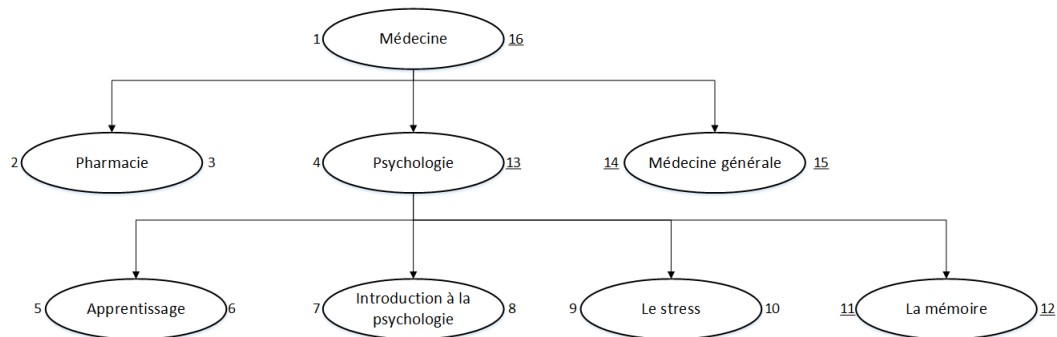


FIGURE 6.8 – Représentation sous forme d'arbre après l'ajout du thème autour du stress. Les valeurs soulignées sont celles qui ont été modifiées par l'ajout.

En utilisant les ensembles imbriqués, il apparaît que l'ajout d'un nouveau thème à notre administration est une procédure facile à réaliser tout en donnant la possibilité de contrôler précisément où un thème doit se trouver dans la hiérarchie. Si nous avons utilisé les listes d'adjacence, nous n'aurions pas pu obtenir cette précision puisque l'ajout consistait simplement à assigner une valeur pour le parent du nouveau thème.

Il est nécessaire de préciser que si nous ajoutons un enfant à un noeud qui n'en contient pas encore (par exemple, nous aurions ajouté un nouveau thème à "Pharmacie"), il aurait fallu récupérer la valeur à gauche du nouveau parent au lieu de la valeur à droite (à l'étape 1). Le reste de la procédure est identique.

Ensuite, nous pouvons voir l'impact que provoque la suppression d'un noeud. Deux cas sont possibles : soit il s'agit d'une feuille (un noeud sans enfant), soit le noeud à supprimer possède au moins un enfant. Dans le premier cas, la suppression est l'exact opposé de l'ajout :

- Nous récupérons la valeur à droite du noeud à supprimer.
- Nous mettons à jour l'ensemble des noeuds dont les valeurs à gauche ou à droite sont supérieures à la valeur récupérée à l'étape 1 et nous les réduisons de 2.
- A présent que le noeud est supprimé logiquement dans l'arbre, nous pouvons le supprimer physiquement au sein de la base de données.

Dans le cas où un noeud à retirer aurait des enfants, nous avons deux possibilités : conserver ou enlever les enfants lors de la suppression. Si nous souhaitons supprimer les enfants d'un noeud lors de la suppression de celui-ci, nous pouvons adapter la méthode présentée ci-dessus :

- Nous récupérons la valeur à droite du noeud à supprimer. Dans le même temps, nous calculons la taille du noeud : $rgt - lft + 1$.
- Nous mettons à jour l'ensemble des noeuds dont les valeurs à gauche ou à droite sont supérieures à la valeur récupérée à l'étape 1 et nous les réduisons d'autant que

la taille calculée à l'étape 1. Par exemple, si nous avons 3|6 comme valeurs pour l'étape 1, ça signifie que la taille était de 4. Les noeuds suivants auront leurs valeurs réduites de 4.

- A présent que le noeud est supprimé logiquement dans l'arbre, nous pouvons le supprimer physiquement au sein de la base de données, ainsi que l'ensemble de ses enfants. Nous devons donc supprimer tous les noeuds qui avaient leurs valeurs comprises entre les valeurs à gauche et à droite du noeud à supprimer.

Si nous souhaitons conserver les enfants d'un noeud lors de sa suppression, nous devons les remonter d'un niveau au sein de l'arbre. Par exemple, si nous reprenons notre arbre de la figure 6.7 et que nous souhaitons supprimer le noeud "Psychologie" tout en conservant les enfants, nous devons mettre "Apprentissage", "Introduction à la psychologie" et "La mémoire" au même niveau que "Pharmacie" et "Médecine générale". Pour ce faire, nous procédons comme suit :

- Nous récupérons la valeur à droite du noeud à supprimer. Dans le même temps, nous calculons la taille du noeud : $rgt - lft + 1$.
- Nous mettons à jour les enfants du noeud à supprimer en réduisant l'ensemble de leurs valeurs à gauche et à droite de 1. En effet, vu que nous supprimons le parent, une valeur (la valeur à gauche du noeud à supprimer) disparaît de la suite de nombres.
- Nous mettons à jour l'ensemble des noeuds dont les valeurs à gauche ou à droite sont supérieures à la valeur récupérée à l'étape 1 et nous les réduisons de 2.
- Le noeud étant à présent supprimé logiquement dans l'arbre, nous pouvons le supprimer physiquement au sein de la base de données.

Réordonner les thèmes Dernière grande manipulation possible sur les thèmes : la réorganisation. Nous souhaitons permettre aux administrateurs d'organiser les thèmes comme bon leur semble donc une possibilité de changer l'ordre après la création est nécessaire. Ce besoin de pouvoir organiser les thèmes à volonté à fortement favoriser notre choix pour la méthode des ensembles imbriqués qui permet plus de libertés à ce niveau-là. Pour illustrer ce changement, nous utiliserons à nouveau l'arbre présent sur la figure 6.7. En souhaitant réordonner les thèmes, nous souhaitons permettre de monter ou de descendre un thème d'une place au sein de l'arbre, ce qui produit les cas suivants :

- Nous échangeons deux noeuds de place, par exemple "Introduction à la psychologie" et "La mémoire".
- Nous montons "Apprentissage" d'une place, ce qui signifie qu'il remonte d'un niveau dans l'arbre et se placera entre "Pharmacie" et "Psychologie".
- Nous descendons un noeud d'un niveau dans l'arbre. Par exemple, "Pharmacie" devient enfant de "Psychologie".

Au sein de l'administration du projet "Hyperlearning", nous séparons le fait d'échanger deux noeuds avec celui de changer le niveau d'un noeud au sein de la hiérarchie. D'abord, voyons comment nous pouvons échanger deux noeuds au sein de l'arbre et utilisons les noeuds "Médecine générale" et "Psychologie" pour illustrer cette manipulation. La figure

6.9 montre l'état de notre arbre après l'échange.

- Première étape, nous devons récupérer les valeurs lft et rgt du noeud que nous souhaitons déplacer. Dans notre cas, il s'agit du noeud "Médecine générale" donc les valeurs sont 12 et 13. Nous les appellerons lft_1 et rgt_1 dans la suite de la procédure. Nous avons également besoin de la taille du noeud : $width_1 = rgt_1 - lft_1 + 1$
- Ensuite, nous récupérons les valeurs du noeud devant, c'est-à-dire le noeud pour lequel la valeur à droite est égale à $lft_1 - 1$. Ici, il s'agit du noeud "Psychologie", nous nommerons ses valeurs (4|11) lft_2 et rgt_2 . Même chose que pour le noeud ci-dessus, nous calculons la taille de notre noeud "Psychologie" : $width_2 = rgt_2 - lft_2 + 1$
- Prochaine étape, nous remplaçons lft_1 et rgt_1 en leur soustrayant la taille $width_2$. Ce qui signifie que notre noeud "Médecine générale" possède à présent les valeurs 4|5. Si "Médecine générale" possédait des enfants, nous aurions du également faire cette étape pour l'ensemble des enfants.
- Enfin, nous changeons les valeurs pour "Psychologie" et ses enfants en ajoutant $width_1$ à toutes les valeurs à gauche et à droite des descendants de "Psychologie" (lui y compris).

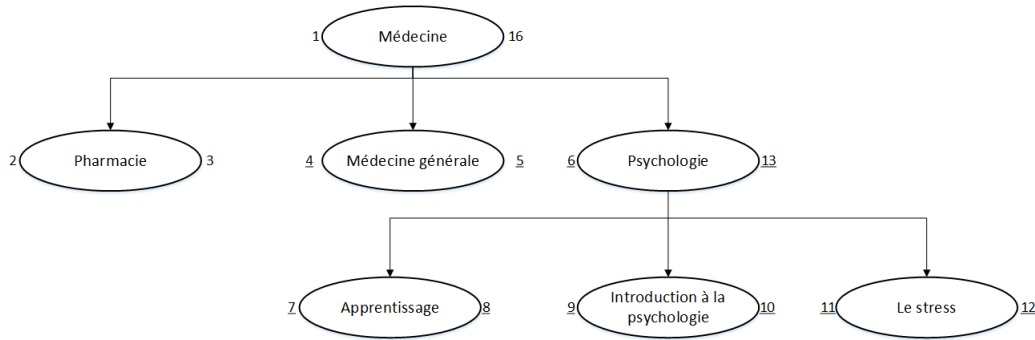


FIGURE 6.9 – Représentation sous forme d'arbre après l'échange des noeuds "Psychologie" et "Médecine générale". Les valeurs soulignées sont celles qui ont été modifiées par l'échange.

Pour terminer, nous allons aborder le changement de niveau d'un noeud dans l'arbre. En d'autres termes, comment pouvons-nous changer le parent d'un noeud tout en conservant l'intégrité de la hiérarchie au sein de la base de données. Nous allons utiliser l'arbre de la figure 6.7 pour illustrer la procédure avec un exemple : nous allons changer le parent de "Médecine générale" par "Psychologie". Nous utiliserons lft_1 et rgt_1 pour nommer les valeurs à gauche et à droite du noeud à déplacer tandis que lft_p et rgt_p représenteront les valeurs du nouveau parent.

- Première étape, nous devons récupérer la différence entre la valeur à gauche de notre noeud ($= lft_1$) et la valeur à droite du nouveau parent ($= rgt_p$). Autrement dit $diff = lft_1 - rgt_p$. Exemple : la différence vaut 1 si nous prenons "Médecine générale" et "Psychologie".
- Ensuite, nous remplaçons lft_1 par rgt_p . Dans notre exemple, la valeur à gauche de

"Médecine générale" est remplacée par 11.

- Cette étape est importante car deux cas sont possibles. En effet, nous pouvons "avancer" ou "reculer" un noeud. C'est à dire que nous devons regarder si le nouveau parent du noeud se trouve avant ou après le noeud en question : les valeurs du parent sont-elles inférieures ou supérieures à celle du noeud ? Pour savoir si nous "avançons" ou "reculons", nous devons regarder si la différence (*diff*) est positive ou négative.

Exemple d'avancement : mettre "Médecine générale" dans "Psychologie" car $diff = 1$.

Exemple de reculement : mettre "Pharmacie" dans "Médecine générale" car $diff = -13$.

- Dans le cas où nous "avançons", comme dans l'exemple que nous avons choisi
 - Nous devons soustraire la valeur *diff* à chaque valeur comprise entre rgt_p et rgt_1 (inclus) qui correspond à la valeur à droite de notre noeud à modifier. Exemple : le $rgt_p = 11$ et $rgt_1 = 13$ donc nous devons soustraire 1 (la valeur de *diff*) aux valeurs comprises entre 11 et 13. La valeur 12 n'existe plus pour le moment dans arbre puisqu'elle a été remplacée à la deuxième étape donc dans notre cas, il n'y a qu'une valeur à remplacer : rgt_1 qui est égale à 13 pour le moment et qui va être remplacée par 12.
Cette étape permet de mettre à jour les valeurs des éventuels enfants du noeud déplacé.
 - Pour finir, nous ajoutons la taille du noeud modifié à rgt_p . Pour conclure notre exemple, nous devons donc ajouter la taille du noeud "Médecine générale" à la valeur à droite de "Psychologie". La taille de ce noeud étant de $2 (rgt_1 - lft_1 + 1)$, rgt_p sera remplacé par 13.
- Si au contraire, nous "reculons", nous devons soustraire la différence à toutes les valeurs comprises entre lft_1 (inclus) et rgt_1 (inclus). Contrairement à l'avancement, il s'agit ici d'une différence négative donc nos valeurs seront bien plus élevées que ce que nous attendons. Ensuite, nous devons également soustraire la taille de noeud déplacé à toutes les valeurs qui sont comprises entre l'ancien rgt_1 et rgt_p . Cette soustraction va résoudre le souci des valeurs trop élevées.

Note importante Malgré l'utilisation des ensembles imbriqués, nous avons tout de même ajouté une colonne *Parent* dans notre table contenant les thèmes. La raison derrière ce choix est une question de performances dans le cas où nous souhaitons seulement récupérer les enfants directs d'un thème. Par exemple, dans la navigation du site, l'utilisateur clique sur un thème et ce sont les enfants directs de celui-ci qui s'affichent, nous n'avons pas besoin que toute la descendance apparaisse dans ce cas-ci. Étant donné qu'il s'agit d'une tâche courante dans notre système, nous avons préféré mettre en avant les performances. Nous aurions pu réaliser cette opération sans cette colonne additionnelle mais le coût en ressources est plus important car la requête nécessite l'utilisation de plusieurs jointures, une sous-requête et la clause *HAVING*. En réalité, cette requête se base sur le calcul de la profondeur des noeuds et ressort ceux dont la profondeur vaut 1. Mike Hillyer donne la structure de la requête permettant de réaliser cette tâche [11], nous l'avons adaptée à

notre domaine d'activité, mais elle est donnée à titre d'exemple.

```
SELECT node.name, (COUNT(parent.name) - (sub_tree.depth + 1)) AS depth
FROM themes AS node,
     themes AS parent,
     themes AS sub_parent,
     (
         SELECT node.name, (COUNT(parent.name) - 1) AS depth
         FROM themes AS node,
              themes AS parent
         WHERE node.lft BETWEEN parent.lft AND parent.rgt
              AND node.name = 'Médecine'
         GROUP BY node.name
         ORDER BY node.lft
     ) AS sub_tree
WHERE node.lft BETWEEN parent.lft AND parent.rgt
     AND node.lft BETWEEN sub_parent.lft AND sub_parent.rgt
     AND sub_parent.name = sub_tree.name
GROUP BY node.name
HAVING depth <= 1
ORDER BY node.lft;
```

Avec cette nouvelle colonne, qui reprend le principe des listes d'adjacence, la requête qui récupère les enfants directs est très simple puisqu'il suffit de sélectionner les thèmes dont le *Parent* est égal à l'identifiant de notre noeud. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut être plus vigilant quant à l'intégrité des données : il faut que le *Parent* de chaque thème soit correct à tout moment.

6.2 Élaboration et encodage

Tout comme l'organisation, l'élaboration améliore le traitement d'information par la mémoire à court terme, mais également pour la mémoire à long terme. De manière simple, l'élaboration est l'association d'une nouvelle information à des informations déjà stockées dans la mémoire, ce principe permet d'améliorer la compréhension et faciliter la mémorisation.

Pour permettre aux étudiants de faire des liens entre les informations, nous agissons à plusieurs endroits. D'abord, nous proposons aux professeurs d'afficher une image illustrant une question. Des recherches ont montré qu'une même information était plus facilement mémorisée au travers d'une image que des mots, ce phénomène est appelé effet de supériorité de l'image [18][21]. Il est important de préciser que les images permettent de faciliter l'encodage des informations au sein de la mémoire, elles ne peuvent pas remplacer le texte purement et simplement : les illustrations doivent être explicatives. La figure 6.10 donne un exemple de cette fonctionnalité, nous pouvons voir que l'image est là pour accompagner le texte. Elle ne remplace pas la question, elle l'illustre. Nous aurions pu nous passer de

l'image pour poser la question (ex : Quelle est la mémoire qui regroupe la mémoire explicite et implicite?), mais cette tournure aurait eu moins d'impact. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4, cette association des mots et des images dans le cadre de l'apprentissage permet de garder l'utilisateur concentré sur les informations dont il prend connaissance. Nous aurions également pu ajouter les sons dans nos questionnaires mais ce média est un peu restrictif : les utilisateurs ne peuvent pas toujours écouter un son clairement (nous proposons une plate-forme adaptée aux mobiles donc utilisable partout).

Question n°5

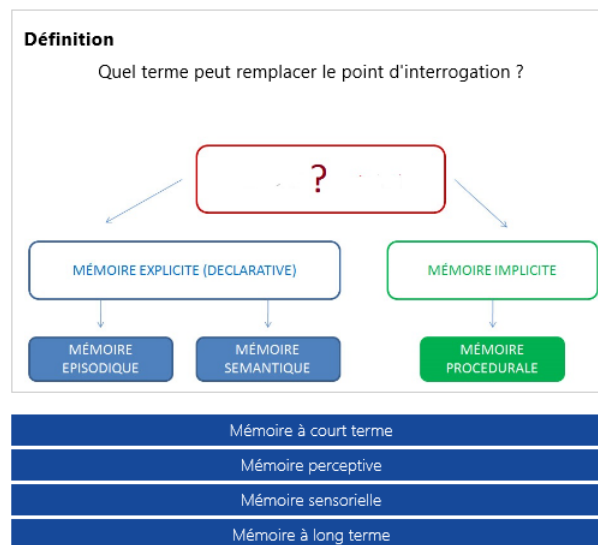


FIGURE 6.10 – Question illustrée par une image

Après les images, le feedback donné aux étudiants est le second élément favorisant l'encodage au sein de la mémoire. Déjà abordé dans la section 5.2, les professeurs doivent fournir une explication lorsqu'ils ajoutent une question via l'administration. Peu importe la réponse de l'étudiant, cette explication sera affichée avant de passer à la question suivante car elle permet à la personne qui vient de répondre de faire des liens entre les différents concepts en lien avec le QCM en cours.

Si la réponse est mauvaise, cette explication permet de corriger les erreurs avant qu'elles ne se figent au sein de la mémoire. Tandis que si la réponse est correcte, ce retour après chaque question procure des rappels d'informations en plus de créer des liens entre les informations présentes dans la mémoire de l'étudiant.

Enfin, lorsqu'un étudiant a terminé un QCM, la plate-forme lui propose des thèmes en lien avec ce qu'il vient de faire. Basé sur la hiérarchie des thèmes, ces suggestions permettent de créer encore plus de liens au sein de la mémoire en associant des informations de thèmes différents.

6.3 Indices de récupération

Comme nous l'avons vu dans la section 2.3.1, des indices de récupération permettent de récupérer des informations enregistrées dans la mémoire à long terme. Dans le cas de notre projet, nous pouvons distinguer plusieurs indices de récupération :

Avant toute chose, l'idée des questionnaires à choix multiples n'est pas anodine. En réalité, proposer des réponses à une question facilite la récupération car les solutions offertes deviennent des indices spécifiques, autrement dit, des indices qui permettent une reconnaissance. En voyant la bonne réponse parmi les propositions, il est possible que l'étudiant se souvienne précisément de la matière relative à la question si les informations ont bien été encodées lors de l'étude. L'utilisation de QCM vérifie qu'une information a été stockée dans la mémoire à long terme et cette vérification se fait à l'aide du principe de reconnaissance. Si l'étudiant n'arrive pas à se souvenir de l'information malgré les indices externes, ça signifie que l'information n'a pas été correctement stockée dans sa mémoire.

Au niveau pratique, il est important de signaler que les réponses proposées pour une question ne sont pas générées aléatoirement. Lors de l'ajout de la question, le professeur doit sélectionner le type de la question (définition, etc.) et peut ajouter une ou plusieurs réponses parmi lesquelles il doit choisir la bonne. Nous proposons au professeur d'ajouter plusieurs réponses s'il souhaite être maître des propositions pour la question mais il ne peut désigner qu'une seule d'entre elles comme étant la bonne réponse. Si le professeur n'ajoute pas plusieurs propositions de réponses, le système s'en chargera et pour ce faire, il puisera dans les questions du même type et du même thème. Par exemple, si nous ajoutons une nouvelle définition dans le thème de la Psychologie et que nous proposons deux réponses dont la bonne lors de l'ajout, le système ira chercher deux autres définitions parmi les questions concernant la Psychologie pour compléter (nos QCM réclament 4 propositions de réponses lorsque nous envoyons une question à un étudiant).

Ce système évite que des propositions de réponses sans rapport avec la question ne soient affichées : nous ne pourrions pas avoir une date qui serait proposée comme réponse à une définition. Si nous ne faisons pas comme ça, l'étudiant pourrait procéder par élimination logique en voyant les réponses (exemple : "2015" comme définition de la mémoire à long terme est illogique) et nous n'aurions pas d'effet de reconnaissance.

Notons que les questionnaires en eux-mêmes peuvent être des indices de récupération. Les étudiants peuvent avoir accès aux QCM avant ou après le cours, les deux cas offrent des avantages. D'une part, les questionnaires après un cours fournissent une répétition et l'étudiant doit faire appel à sa mémoire pour récupérer les informations vues précédemment. D'autre part, si un questionnaire est fait avant d'avoir vu la matière, l'étudiant devrait être plus attentif lorsqu'il recevra les informations au cours.

Après quoi, nous utilisons également les images à des fins de récupération. Tout comme les réponses proposées, les images ont le rôle d'indice spécifique, c'est-à-dire qu'elles doivent stimuler la mémoire de l'étudiant pour retrouver une information précédemment stockée. Contrairement à la forme du choix multiple, les images sont facultatives et leur ajout dépend uniquement de la volonté des professeurs lors de la création des questions.

Pour terminer, les explications données après chaque question ont également pour but de stimuler la mémoire de l'étudiant afin de faire ressurgir des informations en rapport avec la question. Dans ce cas-ci, il ne s'agit pas forcément d'un lien direct avec la question puisque l'explication dépend du professeur mais par exemple, nous pouvons imaginer que l'explication d'une question concernant la mémoire à long terme aborderait également la découpe générale de la mémoire et donc toucherait aussi les mémoires sensorielles et à court terme. La qualité de ce genre d'indices, comme celle des images, dépend fortement de la volonté du professeur qui crée les questions.

6.4 Synthèse

L'importance de l'organisation au sein des thèmes et des groupes a grandement influencé le développement du projet puisque nous avons dû réfléchir à une méthode efficace permettant de stocker une hiérarchie au sein de la base de données tout en permettant plusieurs opérations de bases et en offrant une liberté quasi complète aux professeurs concernant la structure des contenus. Alors que les listes d'adjacence permettent de répondre parfaitement à ce besoin dans la plupart des systèmes de gestion de bases de données, l'utilisation de *MySQL* a influencé la réalisation de la plate-forme. Par conséquent, nous avons dû nous tourner vers un autre modèle de structure hiérarchique, parfois plus compliqué mais qui accroît fortement les performances lorsque ce système est utilisé.

La récupération des informations est un point essentiel pour un outil qui souhaite favoriser l'apprentissage des étudiants. Ainsi, nous avons utilisé plusieurs procédés permettant de créer des indices de récupération spécifiques qui ont pour but de stimuler la mémoire de l'étudiant lorsqu'il répond aux questionnaires. De plus, les questionnaires ne sont pas simplement un moyen de vérifier que l'étudiant connaît la matière, ils peuvent également compléter l'étude en fournissant plus de liens entre les informations. Ces liens sont notamment créés grâce à l'utilisation d'image, d'explication instantanée et de propositions.

Chapitre 7

Courbes d'apprentissage et d'oubli

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, les informations apprises sont rapidement oubliées s'il n'y a pas de rappel par la suite. Malheureusement, il est important de noter que les expériences autour de l'apprentissage et de l'oubli ont été réalisées en utilisant des informations sans contexte et parfois dénuées de sens. Par exemple, Hermann Ebbinghaus menait ses expériences à l'aide d'une liste de syllabes sans queue ni tête. Dans le cadre du projet "Hyperlearning", nous ne souhaitons pas d'informations insensées puisque notre objectif est d'améliorer l'apprentissage des cours (souvent avec des liens interdisciplinaires) pour les étudiants. En effet, les théories de l'apprentissage sont souvent expérimentées avec des données indépendantes afin de pouvoir généraliser le résultat qui découlera de l'expérience. Le problème principal de ce genre d'études est qu'il ne correspond à aucune situation réelle où les informations apprises sont rattachées à des informations connues.

Étant donné que les études menées autour de l'apprentissage et l'oubli se concentrent essentiellement sur la mémorisation d'informations sans contexte et parfois sans sémantique, il n'est pas possible de reprendre les résultats d'une étude comme base précise dans le projet "Hyperlearning". Par exemple Timothy Rickard explique que des expériences ont été menées où les sujets devaient utiliser les tables de multiplication et d'autres problèmes arithmétiques simples [26].

Néanmoins, les principes mis en avant par Hermann Ebbinghaus peuvent être adaptés à notre outil. Ce chapitre a pour but d'expliquer les différentes adaptations faites par rapport aux recherches menées par Ebbinghaus et leur implémentation au sein du projet.

7.1 Courbe d'apprentissage spécifique

Puisqu'il n'existe pas de courbe d'apprentissage que nous pouvons réutiliser telle quelle dans le projet, nous devons en créer une par nous-mêmes. Pour arriver à ce résultat, nous commençons dans un premier temps par enregistrer les temps de réponse des étudiants. Lorsqu'un étudiant répond à une question, son temps de réponse est enregistré au sein de la base de données et affiché à titre informatif lors du récapitulatif de fin du QCM.

Lorsque nous avons les temps de réponse, nous pouvons créer une courbe par question par étudiant. Cette courbe ne représente pas réellement une courbe d'apprentissage ou

d'oubli comme celles présentées par Ebbinghaus mais elle nous permet d'atteindre les mêmes objectifs. En effet, à priori, le temps de réponse pour un étudiant à une question sera grand lors des premières occurrences et tendra à se stabiliser au fil du temps. De ce fait, nous considérons que l'information est en passe d'être oubliée lorsque le temps de réponse est hors de la moyenne de l'étudiant. Nous définissons tout de même un écart-type par rapport à cette moyenne pour autoriser une sorte de marge de manoeuvre à l'étudiant. Cet écart-type est exprimé en un pourcentage par rapport au temps de réponse car il ne serait pas judicieux de fixer une valeur en secondes : si une question prend 10 secondes à l'étudiant et une autre 3 secondes, il n'est pas correct de considérer le même écart-type.

7.2 Répétitions

L'un des points essentiels des recherches d'Ebbinghaus est la répétition et c'est également un aspect très important dans le projet "Hyperlearning" puisque les questions doivent être proposées plusieurs fois à un étudiant avant de pouvoir considérer que les informations sont acquises. Lorsqu'un étudiant se connecte à la plate-forme, il a la possibilité de tester ses connaissances grâce à des tests de 10 questions maximum. Pour se faire, il doit sélectionner un thème et commencer un test. La génération d'une série de questions lorsqu'un étudiant entame un nouveau test n'est pas aléatoire, nous utilisons plusieurs paramètres lors de ce processus.

En premier lieu, nous privilégions les questions qui n'ont jamais été posées à l'étudiant. Étant donné que nous n'avons aucune information à propos des antécédents de l'étudiant sur ces questions, elles sont choisies en priorité pour le test. Ensuite, nous ajoutons des questions pour lesquelles l'étudiant avait répondu faux durant les précédents tests. Une mauvaise réponse est synonyme que les informations concernant la question n'ont pas été correctement enregistrées dans la mémoire à long terme donc il est utile de la proposer à nouveau à l'étudiant lors d'un nouvel essai.

Après, si nous n'atteignons pas la limite des 10 questions, nous regardons les questions pour lesquelles l'étudiant a déjà répondu correctement par le passé. Même si la réponse donnée par l'étudiant lors d'un précédent test est correcte, il n'est pas inutile de proposer la question une nouvelle fois : il peut avoir eu de la chance en sélectionnant la bonne réponse ou avoir oublié entre-temps. Nous considérons qu'une information est apprise lorsque l'étudiant est capable de donner des bonnes réponses à une question de manière successive et avec un temps de réponse qui diminue puis se stabilise.

La section 3.1 explique qu'une répétition devrait, idéalement, survenir juste avant que l'information ne soit oubliée et comme le temps avant l'oubli augmente avec les répétitions (on oublie de moins en moins vite au fil des répétitions), l'intervalle entre deux répétitions doit également être augmenté. De manière arbitraire, mais en nous basant sur les recherches empiriques qui se concentrent sur des périodes plutôt courtes, nous avons défini les intervalles suivants :

- 1 jour
- 3 jours

- 1 semaine
- 1 mois
- 6 mois

Ces intervalles peuvent être modulés dans le système de manière générale ou spécifique (pour un seul utilisateur) et signifient qu’une question à laquelle un étudiant répond correctement sera proposée à nouveau lorsque la période de l’intervalle sera écoulé. En pratique, lorsque l’étudiant répond correctement à une question, nous sauvegardons cette donnée dans la base de données et nous incrémentons l’intervalle pour cette question pour cet étudiant. Lors de la génération d’un nouveau test, nous complétons la série de 10 questions avec les questions qui nécessitent un rappel.

Si l’étudiant ne répond pas correctement à la question ou si le temps de réponse est anormalement long par rapport à la moyenne, l’intervalle est remis à zéro et la question sera considérée comme oubliée. C’est-à-dire que la question sera ajoutée en priorité lors du test suivant.

Exemple Soit les questions $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L$ d’un thème quelconque. Supposons qu’un étudiant souhaite tester ses connaissances sur ce thème, nous allons voir comment les questionnaires peuvent évoluer dans le temps. Pour des raisons de compréhension, nous classerons les questions par ordre alphabétique dans cet exemple.

1. Jour 1 à midi, premier essai par l’étudiant donc la plate-forme va simplement choisir 10 questions parmi les 12 possibles (ex : $A, B, C, D, E, F, H, I, J, L$). Au bout de ce premier test, l’étudiant a correctement répondu aux questions suivantes : A, C, E, F . Par conséquent, nous assignons l’intervalle *1jour* à ces questions tout en sauvegardant les temps de réponse de l’étudiant.
2. Jour 1, nouvel essai quelques heures plus tard (à 18h00 par exemple). La plate-forme va proposer les questions suivantes à l’étudiant : B, D, G, H, I, J, K, L . Il n’y a que 8 questions car l’intervalle des questions correctement répondues n’est pas écoulé : nous proposons les questions jamais proposées auparavant et celles où la réponse était incorrecte. L’étudiant n’est pas vraiment bon et réussit à répondre correctement à seulement deux questions : B, K .
3. Jour 2 à 14h00, l’étudiant retente sa chance sur ce thème. La série de questions pourrait être : $A, C, D, E, F, G, H, I, J, L$, c’est-à-dire, les questions où la réponse est incorrecte précédemment auxquelles on ajoute les questions où l’intervalle est écoulé. En effet, les questions A, C, E, F avait un intervalle d’une journée donc il est temps de faire un rappel. Cette fois-ci, le score de l’étudiant est plus élevé puisqu’il répond correctement aux questions A, D, E, F, H, I, J, L . Par conséquent, les questions A, E, F voient leur intervalle incrémenté pour passer à *3jours* tandis que les autres entament l’échelle des intervalles en passant à *1jour*. La question C quant à elle redescend à 0 puisque l’étudiant n’a pas pu répondre favorablement au rappel.
4. Et ainsi de suite. Au bout d’un moment, on espère que les questions seront à différents endroits de l’échelle des intervalles et que, conséquence directe, il arrivera des moments où il n’y aura peu ou plus de questions à proposer à l’étudiant puisqu’elles feront

toutes l'objet de rappels espacés dans le temps. Le fait que les intervalles augmentent pour les questions montrent que les informations concernant le thème sont de mieux en mieux conservées aux sein de la mémoire de l'étudiant.

Notons que pour que notre exemple soit parfaitement adapté à la réalité du projet "Hyperlearning", des ajustements sont nécessaires. En effet, comme nous l'avons dit précédemment, le temps de réponse moyen joue un rôle dans l'échelle des intervalles. Si un étudiant répond correctement mais que son temps de réponse est anormalement long, nous considérons que la récupération des informations dans la mémoire à long terme est trop longue et qu'il faut plus de rappels. Par conséquent, avant d'entamer l'échelle des intervalles, nous réalisons une phase préparatoire où nous ne faisons que récolter des temps de réponses afin d'établir des moyennes par question et par étudiant.

7.3 Synthèse

Les études menées autour des courbes d'oubli et d'apprentissage étaient réalisées à l'aide d'informations sans contexte afin de mesurer le temps d'oubli sans que d'autres paramètres viennent interférer. Par conséquent, nous n'avons pas pu réaliser une implémentation des résultats de ces recherches directement dans notre plate-forme d'aide à l'apprentissage.

Néanmoins, les principes restent identiques et nous avons donc cherché une autre solution pour mesurer qu'une information apprise à l'aide de la plate-forme avait été oublié. Nous mesurons les temps de réponse des utilisateurs pour atteindre cet objectif et nous les comparons.

Les répétitions sont un des aspects les plus importants du projet "Hyperlearning" et il était essentiel de proposer un système de répétitions cohérent avec les différentes recherches faites à ce sujet. Le résultat est que nous générons les tests proposés aux utilisateurs en nous basant sur les précédentes réponses et proposons des rappels lorsque nous supposons que l'information est en passe d'être oubliée. Tant que l'utilisateur répond correctement à une question dans un temps raisonnable (par rapport à sa moyenne), nous augmentons la durée avant laquelle un rappel sera fait, avec l'espoir que l'ensemble du contenu des question ne nécessite plus de rappels et que les informations soient enregistrées durablement dans la mémoire à long terme. A l'opposé, si l'utilisateur répond incorrectement ou met plus de temps que d'habitude pour répondre, nous considérons qu'un rappel plus fréquent était nécessaire et que l'information était oubliée au moins en partie.

Troisième partie

Perspectives

Chapitre 8

Apprentissage automatique

Le projet "Hyperlearning" pourrait être amélioré sur plusieurs aspects. Dans ce chapitre ainsi que dans le suivant, nous verrons quelques améliorations que nous avons imaginées, mais qui n'ont pas pu être intégrées au projet. Principalement, nous nous attarderons sur les impacts possibles de l'apprentissage automatique et de l'information décisionnelle dans le cadre d'une plate-forme d'aide à l'apprentissage.

Le machine learning, ou apprentissage automatique en français, est un domaine de l'intelligence artificielle étudié depuis de nombreuses années, mais en plein essor depuis peu. Le principe de base sur lequel repose ce champ d'études est la construction et l'étude d'algorithmes qui peuvent apprendre et faire des prédictions à partir de données [36]. Par exemple, nous pouvons imaginer qu'une machine puisse diagnostiquer un cancer à des patients atteints d'une tumeur en fonction de cas précédemment analysés. La reconnaissance faciale est également un exemple très parlant. En effet, lorsque nous postons une image sur un réseau social et que celui-ci nous suggère des personnes à identifier sur la photo, il s'agit d'apprentissage automatique. Il est évident que le réseau social ne possédait pas un algorithme permettant d'identifier tout le monde dès qu'il a mis ce service en ligne, la reconnaissance s'est affinée au fil du temps en fonction d'un ensemble d'exemples. Plus les personnes utilisant le réseau social identifient de personnes sur des photos et plus cet ensemble permettra à l'algorithme de prédire des identifications.

Dans ce chapitre, nous aborderons les différents types de stratégies possibles avec le machine learning et leurs applications éventuelles sur notre projet de plate-forme d'aide à l'apprentissage.

8.1 Définitions

Andrew Ng [24] nous apprend qu'il existe deux types d'apprentissage automatique en fonction des problèmes et des données en entrée et que nous pouvons également avoir plusieurs types de données en sortie.

Nous nous limiterons aux principaux types d'apprentissage automatique : supervisé et non supervisé.

8.1.1 Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé est le premier type d'apprentissage possible dans le cadre du *Machine Learning* et il consiste à inférer un résultat sur base de données exemples. L'ordinateur, à l'aide des exemples fournis par "expert" (généralement un humain), a pour objectif de déterminer des règles qui permettent de faire correspondre une donnée en entrée avec un résultat en sortie.

Si nous reprenons l'exemple cité dans l'introduction de ce chapitre à propos des patients atteints d'une tumeur, nous pourrions le classer dans cette catégorie. En effet, on essaye que la machine puisse dire si la tumeur d'un patient est cancéreuse ou non. Pour pouvoir répondre à cette question, l'algorithme se base sur les cas précédemment analysés et entrés dans la base de connaissance de l'ordinateur par les médecins.

Nous pouvons distinguer principalement deux types de problèmes dans le cadre de l'apprentissage supervisé : les problèmes de classification et ceux de régression.

Classification

Dans les problèmes de classification, l'objectif de l'ordinateur est de déterminer dans quelle catégorie doit se trouver une nouvelle donnée. Pour faire ce choix, l'algorithme se base sur des données exemples qui sont membres de ces catégories. Parmi les exemples les plus connus, nous pouvons citer celui du SPAM. Lorsqu'un e-mail arrive sur le serveur mail d'un utilisateur, un algorithme détermine si ce courrier est légitime ou si, au contraire, il doit être considéré comme un élément indésirable. Pour faire ce choix sans qu'une action de l'utilisateur ne soit nécessaire, il faut comparer le courrier reçu avec d'autres messages.

La classification fait partie de l'apprentissage supervisé car il y a une comparaison avec des données modèles. Si nous reprenons l'exemple du SPAM, ces données peuvent être des courriers que l'utilisateur aurait classés lui-même par le passé ou des exemples intégrés par le prestataire de mail.

Régression

Faisant partie également de l'apprentissage supervisé, les problèmes de régression se basent aussi sur des ensembles de données enregistrées à l'avance. La différence avec la classification se situe au niveau du résultat.

Si dans les problèmes de classification, l'intérêt est de trouver à quelle catégorie appartient une nouvelle donnée, les algorithmes qui traitent des problèmes de régression ont plutôt l'objectif d'assigner une valeur réelle à chaque donnée entrée. Par exemple, si nous souhaitons déterminer le prix de vente d'une maison sur base de sa superficie. D'abord, nous aurons des données d'exemples qui diront que pour telle superficie, la maison a été vendue à tel prix. Ensuite, nous aurons une nouvelle maison dont nous aimerions connaître le prix. L'algorithme, sur base des autres ventes, proposera un prix en fonction de la superficie entrée.

8.1.2 Apprentissage non supervisé

L'apprentissage non supervisé vise à trouver une structure dans les données brutes proposées, nous ne cherchons pas à obtenir un résultat mais à voir si des similarités existent sur bases d'observation.

Nous pouvons citer les moteurs de recherches comme exemple de ce type d'apprentissage. La quantité de document sur le net est impressionnante et les algorithmes des moteurs de recherches vont tenter de trouver des traits communs entre ceux-ci afin de ressortir des pages similaires lors d'une recherche d'un utilisateur. Sur base de leur contenu, les pages Web seront catégorisées par les moteurs de recherches, il s'agit d'une forme d'apprentissage non supervisé.

8.2 Lien avec le projet

Dans le chapitre 7, nous avons vu que les répétitions des questions suivent une échelle d'intervalles définie dans l'algorithme qui génère les questionnaires à choix multiple. Nous savons également que les répétitions devraient idéalement survenir au moment où nous commençons à oublier et que ce moment est dépendant de l'individu. Nous pourrions utiliser l'apprentissage automatique (ou machine learning) dans le cadre de notre plate-forme d'aide à l'apprentissage pour adapter ces intervalles à chaque utilisateur.

Imaginons qu'un utilisateur commence à utiliser la plate-forme et s'applique à s'en servir à un rythme constant. A supposer que nous arrivions à montrer qu'il existe un lien entre le temps de réponse et la durée de rétention, nous pourrions nous servir de l'apprentissage supervisé et plus particulièrement des méthodes traitant des problèmes de régression. En effet, sur base du temps de réponse et en le comparant avec les temps de réponse des autres questions auxquelles l'utilisateur a répondu, un algorithme pourrait déterminer l'intervalle à appliquer pour que le rappel soit le plus efficace possible.

Nous pourrions également nous servir des données des autres utilisateurs comme données d'exemples pour déterminer les intervalles avant d'avoir assez de données concernant notre utilisateur.

Chapitre 9

Informatique décisionnelle

L'informatique décisionnelle (ou *Business Intelligence*) est un autre aspect qui pourrait apporter de nouvelles fonctionnalités à notre plate-forme d'aide à l'apprentissage. Tout comme l'apprentissage automatique, il s'agit d'un domaine qui est à l'étude depuis de nombreuses années, mais qui subit une croissance de plus en plus forte dans le monde de l'entreprise. Comme nous l'explique Michael Tranchant [32], l'informatique décisionnelle a pour but d'aider les décideurs et les dirigeants d'entreprises à prendre des décisions opérationnelles sur base de la grande quantité d'informations que nous pouvons trouver au sein d'un business. Afin de remplir cet objectif, il faut dans un premier temps remplir un entrepôt de données qui sera ensuite utilisé pour produire des indicateurs et des rapports. La figure 9.1 donne une idée générale du processus depuis les sources de données fonctionnelles d'une entreprise jusqu'aux rapports et analyses utiles aux prises de décisions.

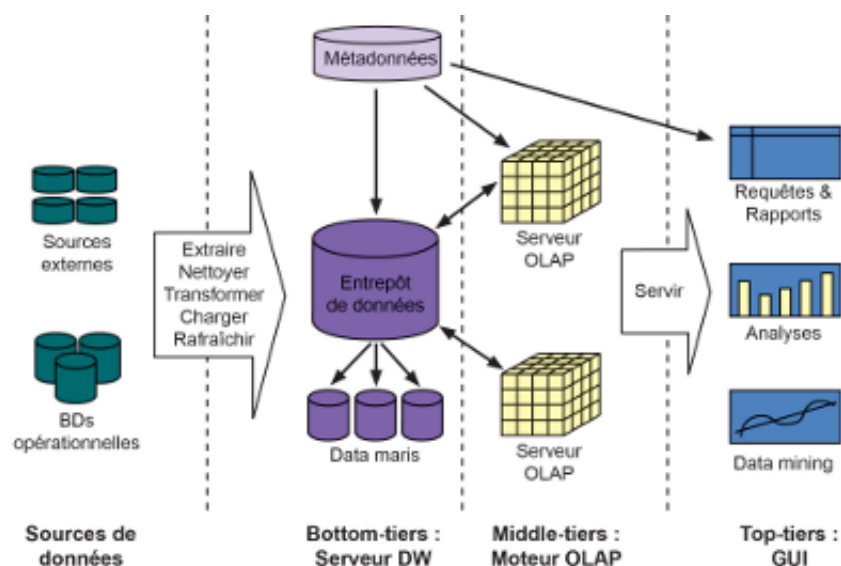


FIGURE 9.1 – Aperçu des éléments nécessaire à l'informatique décisionnel. (Source : 'Informatique Décisionnelle' NFE115)

Ce chapitre est l'occasion d'aborder certains concepts de base de l'informatique décisionnelle et comment elle peut être utile dans le cadre de notre projet.

9.1 Définitions

9.1.1 Entrepôt de données

Lorsque nous souhaitons entrer dans le monde de l'informatique décisionnelle, nous ne pouvons pas passer à côté de l'entrepôt de données (ou *Data Warehouse*). En effet, il n'est pas rare de trouver plusieurs bases de données au sein d'une même entreprise. Si nous prenons l'exemple d'une banque, nous pourrions avoir des données concernant des clients dans des fichiers encore utilisés par d'anciens logiciels financiers et dans des bases de données relationnelles créées plus récemment. Pour palier à ce problème de diversité, nous devons créer un entrepôt de données qui servira de base commune à l'aide à la décision. Les données sont bien entendu issues des différentes bases fonctionnelles, mais elles seront uniformisées.

9.1.2 Magasin de données

Un magasin de données (ou *Data Mart*) est un sous-ensemble de l'entrepôt de données destiné à fournir des données aux utilisateurs sur un domaine bien spécifique. Par exemple, si nous reprenons la banque comme exemple, nous pourrions avoir un magasin de données pour la relation client, un autre pour les ressources humaines et un autre pour la gestion des prêts et intérêts.

L'intérêt d'utiliser le magasin de données plutôt que l'entrepôt est que les données dans le magasin sont simplifiées et qu'il n'est pas nécessaire de trier toute la base de données. Plusieurs exemples de simplification sont donnés [37] :

- L'agrégation de données : le magasin de données contient les totaux des opérations sans s'encombrer des détails. Exemple : le chiffre d'affaire de chaque agence d'une banque, pouvant être regroupé par région, sans les détails par service.
- Le retrait de données inutiles : le magasin de données ne contient que le strict nécessaire pour les utilisateurs auxquels il est destiné.
- L'historisation des données : le magasin de données contient les données d'une période particulière utile aux utilisateurs.

9.1.3 OLAP

OLAP est l'abréviation de *OnLine Analytical Processing* et est traduit par traitement analytique en ligne en français. Ce terme désigne un type d'application ayant pour but de collecter et traiter des informations selon plusieurs axes (multidimensionnel) afin de générer des analyses et des rapports.

Michael Tranchant [32] nous apprend que l'inventeur du terme OLAP, Edgar Frank Codd, a introduit 12 règles qui permettent de dire si une application entre dans cette catégorie :

1. Transparence
2. Accessibilité
3. Manipulation aisée des données
4. Vue multidimensionnelle
5. Architecture client-serveur
6. Multi-utilisateurs
7. Stabilité peu importe le nombre de dimensions et le nombre d'éléments
8. Gestion des informations manquantes
9. Croisement des dimensions (opérations inter et intra-dimensionnelles)
10. Dimensions indépendantes
11. Analyse sans limite
12. Souplesse d'affichage et flexibilité

Si l'entrepôt de données est le lieu de stockage, le programme OLAP est l'outil qui permet de les utiliser à travers une analyse multidimensionnelle. Plusieurs opérations sont possibles sur le cube de données (hypercube : représentation des données multidimensionnelle) :

- Tailler : sélection classique des données en extrayant une partie du cube. On distingue deux opérateurs possibles : sélectionner une tranche (*slicing*, voir la figure 9.2) ou un bloc (*scoping* ou *dicing*, voir la figure 9.3).

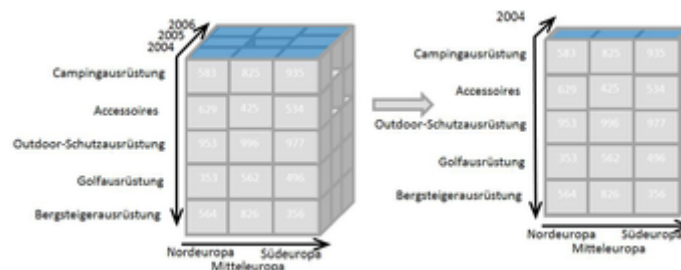


FIGURE 9.2 – Illustration du *slicing* (Auteur : Infopedian)

- Pivoter (*rotate*, voir la figure 9.4) : nous pouvons inverser deux dimensions. Par exemple, si nous avons une carte du monde par année, nous pourrions inverser et obtenir toutes les années sur une carte.
- Remonter et forer (*roll-up* et *drill-down*, voir la figure 9.5) : ces opérations permettent de monter ou de descendre au sein de la structure de données. Par exemple, passer d'une vue régionale à une vue par pays est le résultat de remonter, le contraire sera celui de forer.
- Forer latéralement : permet, en restant dans le même niveau de dimension, de changer l'une des valeurs. Par exemple, si nous affichons les données de l'année 2013 sur une carte et que nous forons latéralement, nous pourrions afficher les données de 2014.

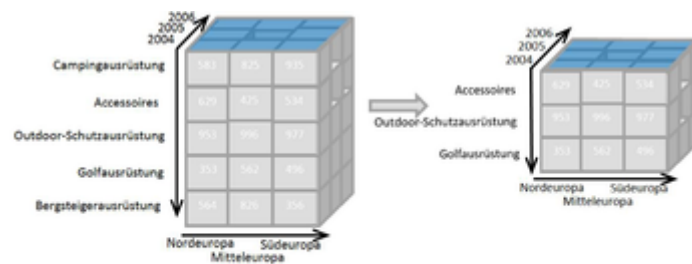


FIGURE 9.3 – Illustration du *scoping* (Auteur : Infopedian)

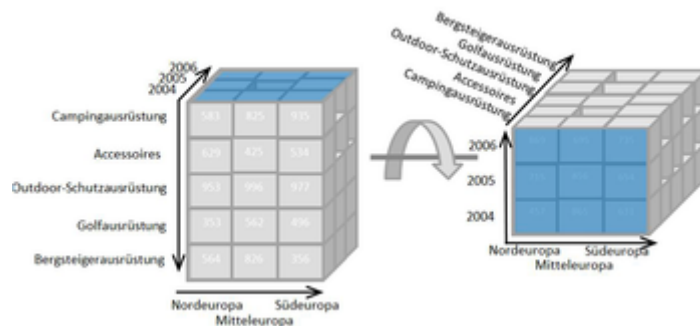


FIGURE 9.4 – Illustration du *rotate* (Auteur : Infopedian)

Une application OLAP est l'outil par excellence pour explorer les données stockées précédemment dans l'entrepôt et les magasins. Ensuite, il faut utiliser des logiciels de visualisation pour afficher les données et générer des rapports d'analyse ainsi que des indicateurs.

9.2 Lien avec le projet

Bien qu'avant tout tourner vers le monde de l'entreprise, l'informatique décisionnelle peut être utile pour notre plate-forme d'aide à l'apprentissage. En effet, avec les temps de réponses des utilisateurs, nous obtenons une grande quantité d'informations qui pourraient être utilisées afin d'aider les professeurs à adapter leurs cours. Supposons que nous ayons plusieurs centaines d'étudiants qui utilisent la plate-forme et qui testent leurs connaissances sur thème. Ils vont répondre aux différentes questions et les temps de réponse seront enregistrés dans la base de données. Nous pourrions récupérer ces données dans un entrepôt de données pour les exploiter.

Par exploitation, nous entendons que nous pourrions nous servir de ces données pour générer des rapports sur l'efficacité de la plate-forme par rapport à l'apprentissage et donner des indications aux professeurs. Par exemple, si un grand nombre d'utilisateurs

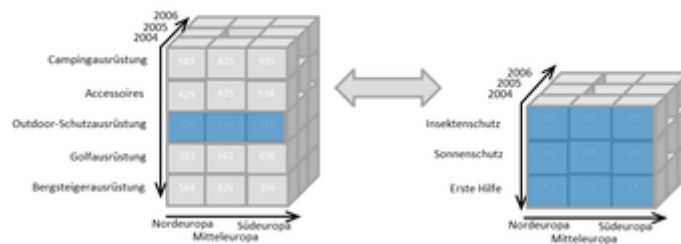


FIGURE 9.5 – Illustration du *roll-up* et *drill-down* (Auteur : Infopedian)

échouent à un test, ça peut vouloir signifier que la forme des questions est à revoir. Nous pourrions comparer le taux de bonnes réponses et les temps de réponse aux chiffres de vente d'une entreprise. Là où l'information décisionnelle peut aider une entreprise à identifier les éventuels problèmes parmi ces exploitations, nous pourrions identifier des soucis aux niveaux des cours.

Bien entendu, la plate-forme du projet "Hyperlearning" n'est pas une entreprise qui a besoin de prendre des décisions Business. Cependant, nous pensons que les principes appliqués dans le cadre de l'informatique décisionnelle peuvent être utiles dans une certaine mesure à mettre en avant des problèmes et aider les professeurs à organiser leurs cours sur base des réponses des utilisateurs.

Nous pourrions construire un cube tel que nous l'avons vu dans ce chapitre où les dimensions seraient les cours avec le taux de bonnes réponses par question et par groupe d'étudiants. De cette manière, nous aurions la possibilité d'explorer les données comme nous l'aurions fait pour des données d'une entreprise. Par exemple : utiliser le roll-up/drill-down sur les groupes d'étudiants (bac 1 ↔ ensemble de la faculté ↔ ensemble de l'université) et afficher le taux de bonnes réponses pour les étudiants de première année de médecine pour le thème d'introduction à la psychologie.

Chapitre 10

Ludification

Quand nous avons abordé le *Multimedia Learning* dans le chapitre 4, nous avons également vu en quoi consistait la ludification et comment introduire des mécanismes de jeux en sein d'une application plus sérieuse peut motiver l'utilisateur à continuer de participer. Nous n'avons pas eu le temps d'inclure ce genre de procédés dans notre projet, mais nous avons tout de même pensé à plusieurs moyens de combiner la ludification et notre plate-forme d'aide à l'apprentissage.

Tout d'abord, un système de vies pourrait être ajouté. Lorsqu'un utilisateur teste ses connaissances sur un thème, il aurait droit à plusieurs vies, à l'image de la figure 10.1 qui présente l'application Duolingo sur Windows Phone et où nous pouvons voir les trois coeurs symbolisant les vies. A chaque mauvaise réponse, l'utilisateur perd une vie et le test s'arrête au bout des 10 questions ou lorsque les trois vies sont perdues.

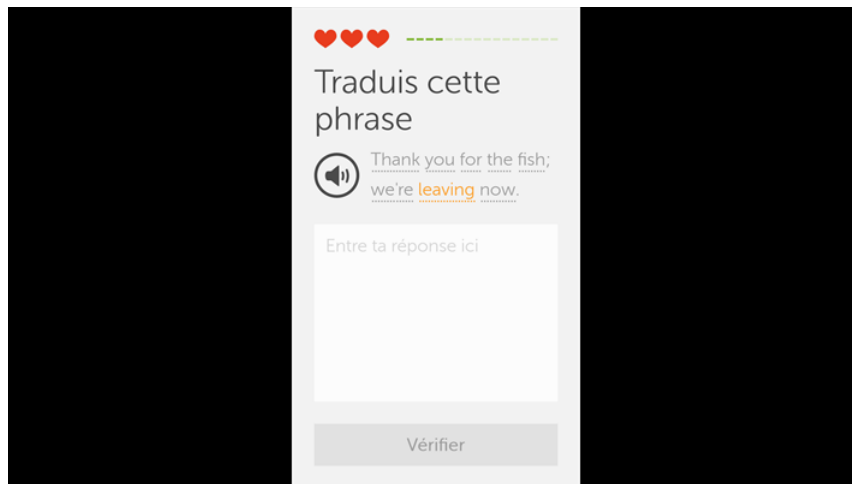


FIGURE 10.1 – Capture d'écran de Duolingo sur Windows Phone illustrant le système de vies

Ensuite, l'accomplissement a été mis en avant par les recherches comme étant une bonne source de motivation. Par conséquent, il serait intéressant d'inclure un système similaire à ce que nous montre la figure 10.2, c'est-à-dire une liste de badges que l'utilisateur pourrait débloquer au fur et à mesure qu'il utilise la plate-forme. Débloquer les badges fait appel à la satisfaction personnelle de l'utilisateur qui pourrait être motivé à continuer de tester ses connaissances dans le seul but de débloquer toute la liste.

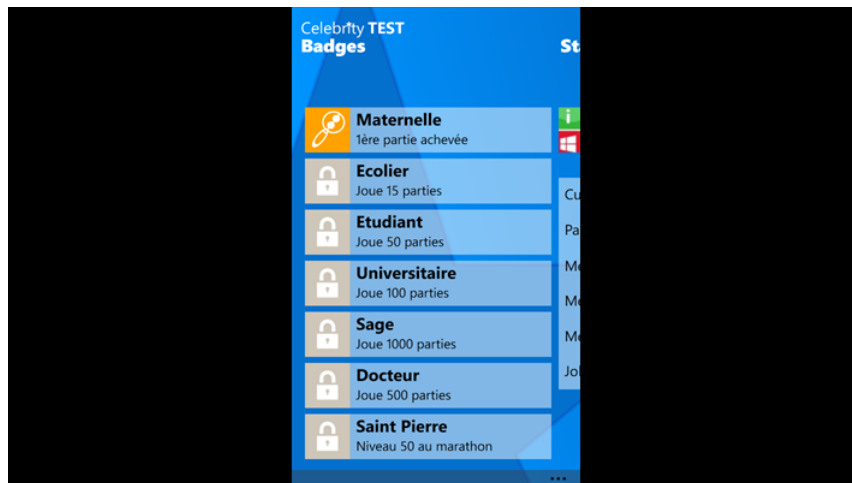


FIGURE 10.2 – Capture d'écran de Celebrity Test sur Windows Phone illustrant le système de badges

Enfin, un classement par thème pourrait être également bénéfique. En effet, les classements motivent certains utilisateurs qui souhaitent absolument se surpasser pour atteindre les premières places. Outre être une source de motivation, les classements pourraient également être un point de départ à l'entraide. Un utilisateur en difficulté sur un thème pourrait faire appel à ses amis qui se trouvent bien placés dans le classement et qui, logiquement, connaissent bien la matière du thème en question.

En conclusion, il existe un tas de mécanismes issus des jeux qui peuvent motiver les utilisateurs à continuer d'apprendre à l'aide de notre plate-forme. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'il s'agit d'une plate-forme d'aide à l'apprentissage et pas d'un jeu. Il faut donc bien réfléchir avant d'inclure de tels procédés afin que le jeu ne prenne pas le dessus sur le côté pédagogique du projet.

Conclusion

Dans un monde où l'informatique prend de plus en plus d'importance, de nombreux acteurs tentent d'utiliser la technologie pour améliorer l'apprentissage. Cependant, tous ne tiennent pas compte des différents concepts qui régissent les théories liées à l'apprentissage et à la mémoire. Avec le projet "Hyperlearning", nous avons souhaité développer un outil qui tient compte de ces aspects psychologiques et qui peut venir en aide à toute personne souhaitant un coup de pouce dans son apprentissage.

Le résultat est une plate-forme Web permettant à des professeurs (dans le sens large du terme, c'est-à-dire des personnes qui souhaitent partager des connaissances) de proposer des questionnaires à choix multiples aux utilisateurs qui le désirent. En nous basant sur plusieurs études psychologiques, nous avons mis en avant plusieurs fonctionnalités afin d'optimiser la sauvegarde durable des informations dans la mémoire. Notamment, nous avons mis l'accent sur l'organisation des données au sein de la plate-forme et les liens qui peuvent favoriser une meilleure transition des connaissances dans la mémoire à long terme.

Cependant, l'outil est loin d'être parfait et de nombreuses améliorations sont possibles. Par exemple, l'adaptation des rappels par rapport à la capacité de mémorisation de l'utilisateur est un aspect important qui n'a pas encore pu être exploité au maximum. En effet, nous avons mis en place un système avec l'objectif de vérifier si les informations sont toujours présentes dans la mémoire de l'étudiant mais nous l'avons développé sur base d'études sur l'oubli mettant en évidence qu'une information devrait être rappelée à l'instant où nous commençons à l'oublier. Or, nous considérons, pour le moment, que tous les utilisateurs ont besoin de rappels à la même fréquence, une fréquence qui évolue tout de même dans le temps en fonction des réponses données.

En conclusion, la plate-forme d'aide à l'apprentissage développée dans le cadre de ce mémoire a permis d'avoir un aperçu des possibilités lorsque nous unissons les théories de l'apprentissage et les technologies de l'information et de la communication actuelles. La prochaine étape serait de tester l'impact de cet outil sur l'acquisition et la mémorisation de nouvelles connaissances.

Bibliographie

- [1] Chris Anderson. *Free !* Pearson, 2009.
- [2] Vincent Ferrari et Évelyne Marmèche André Didierjean. La stratégie du joueur d'échecs. *CerveauPsycho*, (1) :58, 2003.
- [3] Richard Bartle. Hearts, clubs, diamonds, spades : Players who suit muds. *Journal of MUD research*, 1(1) :19, 1996.
- [4] Stello Bonhomme and Carole Talon-Hugon. *Esthétique des jeux vidéo*, volume 11. Presses Universitaires de France, 2013.
- [5] Carole Wade Carol Tavris. *Introduction à la psychologie. Les grandes perspectives*. De Boeck, 1999.
- [6] International Data Corporation. Smartphone os market share, q1 2015.
- [7] Université de Genève. Qu'est-ce qu'un mooc ? [Université de Genève.com ; accessed 17-août-2015].
- [8] Hermann Ebbinghaus. *Über das gedächtnis : untersuchungen zur experimentellen psychologie*. Duncker & Humblot, 1885.
- [9] Explain Extended. Adjacency list vs. nested sets : Mysql. [explainextended.com ; accessed 19-August-2015].
- [10] Elisabeth Grebot. *Images mentales et stratégies d'apprentissage : Explication et critique, Les outils modernes de la gestion mentale*. ESF Editeur, 1994.
- [11] Mike Hillyer. Managing hierarchical data in mysql. *MySQL Developer Zone [online]*, 2010.
- [12] Karen Huffman. *Introduction à la psychologie*. de Boeck, 2009.
- [13] Pierre-Yves Hurel. Jeux sérieux : présentation. *Culture, le Magazine Culturel de l'Université de Liège*, 2013.
- [14] Pierre Juillet. *Dictionnaire de psychiatrie*. CLIF, 2000.
- [15] Ethan Marcotte. Responsive web design. 2010. *A list apart [online]*, 2010.
- [16] Ethan Marcotte. *Responsive web design*. Number 4. Editions Eyrolles, 2011.

- [17] Edwin Martin. What i don't like about php. [bitstorm.com ; accessed 19-August-2015].
- [18] Margaret W Matlin. *La cognition : une introduction à la psychologie cognitive*. De Boeck Supérieur, 2001.
- [19] Richard E Mayer. *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press, 2005.
- [20] Richard E Mayer. *Multimedia learning*. Cambridge university press, 2009.
- [21] John J Medina and Sabine Rolland. *Les 12 lois du cerveau*. Leduc. S éd., 2010.
- [22] Baptiste Monterrat, Élise Lavoué, and Sébastien George. Vers une ludification personnalisée dans une plateforme d'ancrage mémoriel. *Actes de l'Atelier «Serious games, jeux épistémiques numériques»*, page 19.
- [23] Ulric Neisser. *Cognitive psychology*. Appleton-Century-Crofts New York, 1967.
- [24] Andrew Ng. Machine learning. [Coursera ; accessed 13-August-2015].
- [25] Oracle. Hierarchical queries. [oracle.com ; accessed 19-August-2015].
- [26] Timothy C Rickard. Forgetting and learning potentiation : dual consequences of between-session delays in cognitive skill learning. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 33(2) :297, 2007.
- [27] Florian Rivoal, Hakon Wiun Lie, Tantek Celik, Daniel Glazman, and Anne van Kesteren. Media queries. *W3C Recommendations*, 2012.
- [28] Christine Solnon. Théorie des graphes - problèmes d'optimisation dans les graphes. *Cours à l'IUT*.
- [29] Herbert F Spitzer. Studies in retention. *Journal of Educational Psychology*, 30(9) :641, 1939.
- [30] Larry R Squire and Eric R Kandel. *La mémoire : de l'esprit aux molécules*. De Boeck Supérieur, 2002.
- [31] StackOverflow. Recursion vs. iteration in php. [stackoverflow.com ; accessed 19-August-2015].
- [32] Michael Tranchant. Qu'est-ce que l'informatique décisionnelle? [Developpez.com ; accessed 13-August-2015].
- [33] McGill University. Le cerveaux à tous les niveaux, mémoire et apprentissage.
- [34] Gijs Van Tulder. Storing hierarchical data in a database. *Sitepoint [online]*, 2003.
- [35] W3Schools.com. Css tutorial.
- [36] Wikipedia. Machine learning — wikipedia, the free encyclopedia, 2015. [Online ; accessed 13-August-2015].

- [37] Wikipédia. Datamart — wikipédia, l'encyclopédie libre, 2015. [En ligne ; Page disponible le 15-août-2015].
- [38] Nick Yee. Motivations for play in online games. *CyberPsychology & behavior*, 9(6) :772–775, 2006.